

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,  
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ  
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Кафедра химии

# ХИМИЯ

## ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

*Методические указания по изучению дисциплины  
и выполнению модульно-рейтинговых заданий  
для студентов, обучающихся по специальностям  
1-74 03 01 Зоотехния, 1-74 03 03 Промышленное рыбководство*

Горки  
БГСХА  
2022

УДК 547:577.1(072)

ББК 24 я73

X46

*Рекомендовано методической комиссией  
факультета биотехнологии и аквакультуры.  
Протокол № 5 от 26 января 2022 г.*

Авторы:

кандидаты сельскохозяйственных наук, доценты

*О. В. Поддубная, И. В. Ковалева, Е. В. Мохова, М. Н. Шагитова*

Рецензент:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. Г. Марусич*

**Химия. Органическая химия. Биологическая химия :**  
X46 методические указания по изучению дисциплины и выполнению модульно-рейтинговых заданий / О. В. Поддубная [и др.]. – Горки : БГСХА, 2022. – 142 с.

Приведена информация по изучению реакционной способности органических веществ и общих закономерностей органических реакций. Особое внимание уделено реакциям, аналоги которых встречаются в живой природе. Кратко и доступно рассмотрены теоретические вопросы биологической химии.

Для студентов, обучающихся по специальностям 1-74 03 01 Зоотехния, 1-74 03 03 Промышленное рыбководство.

УДК 547:577.1(072)

ББК 24 я73

© УО «Белорусская государственная  
сельскохозяйственная академия», 2022

## ВВЕДЕНИЕ

Органические вещества являются материальными носителями жизни на Земле. Каждая живая клетка содержит десятки органических соединений, в том числе таких сложных, как липиды, белки, углеводы, нуклеиновые кислоты, гормоны, витамины, которые находятся в постоянных взаимопревращениях, обеспечивая жизнедеятельность организмов. В сложном комплексе физико-химических процессов, протекающих в организме и составляющих основу жизни, участвуют преимущественно органические вещества. Химия базируется на знании структуры и свойств этих веществ и позволяет понять закономерности химических процессов, протекающих в живых организмах. Изучение химического состава органических веществ и живых организмов, а также закономерностей химических реакций, лежащих в основе биохимических превращений, дает возможность управлять процессами жизнедеятельности с целью повышения продуктивности животноводства, птицеводства и рыбоводства.

В данных методических указаниях, составленных в соответствии со стандартами и учебной программой, студентам предлагаются теоретический минимум по разделам органической и биологической химии дисциплины «Химия», методика выполнения заданий по основным темам, а также задания для самоподготовки.

При рассмотрении теоретических вопросов рекомендуется обращаться к учебным пособиям и учебникам, приведенным в списке литературы, а также при необходимости использовать дополнительную информацию.

Построение заданий рассчитано на постепенное усвоение студентами всех тем разделов. Предлагаемые задания могут быть использованы не только в процессе самостоятельной работы, но и в ходе лабораторных занятий и аудиторного контроля.

В результате изучения разделов органической и биологической химии студент должен: закрепить основные химические понятия и законы; усвоить наиболее важные термодинамические и кинетические закономерности химических процессов; изучить свойства растворов и ионных процессов, свойства биогенных элементов и их соединений, представляющих наибольший интерес для специалистов-зоотехников и рыбоводов; понять химическую природу органических соединений и

их биологическую роль; изучить применение биологически активных веществ в зоотехнической практике; усвоить основные закономерности метаболических процессов, лежащих в основе физиологических явлений; уяснить вопросы функциональной биохимии, в частности биохимии крови, мышц, нервной и соединительной ткани, печени и основ биохимии продуктивности; сформировать представление о биоэнергетике живого организма.

Согласно программе курса изучаемые темы имеют профессиональную направленность, что помогает сформировать у студентов биологическое мышление. Понимание студентами общих закономерностей поведения органических соединений в химических реакциях во взаимосвязи с их строением, умение прогнозировать свойства органических соединений, опираясь на теоретические концепции органической химии, позволяет получить базовые знания для освоения дисциплин профессионального цикла, прежде всего, кормления, разведения сельскохозяйственных животных, ветеринарии, зоогигиены.

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ И ТИПОВЫЕ ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ БЛОКОВ МОДУЛЯ

## Блок 1. Теоретические основы органической химии

### Теоретические вопросы

1. Основы современной теории строения органических соединений. Основные классы органических соединений.
2. Структурные формулы, изомерия органических соединений, классификация.
3. Взаимное влияние атомов. Электронные эффекты. Понятие реакционного центра. Классификация органических реакций и их компонентов.
4. Классификация, номенклатура спиртов, фенолов, оксосоединений и карбоновых кислот. Основные физико-химические свойства. Важнейшие представители, распространение в природе, биологическая роль и применение в зоотехнической практике. Карбоновые кислоты со смешенными функциями. Гидроксикислоты, фенолоксикислоты, оксокислоты. Особенности химических свойств, биологическая роль.
5. Общая характеристика липидов, классификация, биологическая роль.
6. Простые липиды. Нейтральные жиры (триацилглицерины). Строение жиров.
7. Понятие о восках. Спермацет, ланолин, пчелиный воск: их роль.
8. Стероиды. Строение, биологическая роль. Холестерин.
9. Сложные липиды. Строение, биологическая роль. Важнейшие представители фосфолипидов, гликолипидов.
10. Понятие, распространение в природе, биологическая роль. Классификация. Номенклатура.
11. Моносахариды. Стериоизомерия, *L*- и *D*-ряды, оптические антитиподы.
12. Химические свойства моносахаридов: окисление, восстановление, эпимеризация, образование простых и сложных эфиров (ацетаты, фосфаты), образование гликозидов, конденсация.
13. Качественные реакции на моносахариды.
14. Дисахариды. Мальтоза, лактоза, целлобиоза, сахароза. Восстанавливающие, невосстанавливающие сахара. Строение, свойства, распространение в природе.

15. Полисахариды. Химическое строение, свойства, распространение в природе, биологическая роль. Гомополисахариды. Крахмал, гликоген, целлюлоза, декстраны. Гетерополисахариды. Гиалуроновая кислота, хондроитинсульфат, гепарин.

16. Аминокислоты. Классификация, изомерия, номенклатура. Протеиногенные аминокислоты. Физические свойства. Поведение аминокислот в растворе, изоэлектрическая точка. Химические свойства аминокислот: образование пептидов, хелатов; окисление, декарбоксилирование, дезаминирование. Взаимодействие с азотистой кислотой, формальдегидом, нингидрином и применение этих реакций для количественного определения аминокислот. Качественные реакции аминокислот.

17. Пептиды. Белки. Строение, классификация, номенклатура. Распространение в природе, биологическая роль. Строение и уровни структурной организации белков. Типы связей и их роль в молекулах белков: пептидная, водородная, дисульфидная, ионная, сложноэфирная связи, гидрофобное взаимодействие. Мономерные и олигомерные белки.

18. Физико-химические свойства белков. Амфотерность, буферные свойства. Гидролиз белка. Коллоидное состояние белков, изоэлектрическая точка, коагуляция и денатурация. Определение аминокислотного состава белка. Методы выделения и очистки белков (высаливание, осаждение органическими растворителями, диализ, хроматография, электрофорез).

19. Напишите уравнения реакции взаимодействия бутана и изобутана с бромом и азотной кислотой. Укажите условия проведения этих превращений.

20. Напишите структурные формулы углеводородов: а) 2,2,6-триметилгексана-4; б) 2,3-диметилпентана-1; в) 2,2,4-триметилгексана-3; г) 2-метилгексана-3.

21. Напишите формулы геометрических изомеров: а) бутена-2; б) пентена-2; в) 2,5-диметилгексана-3; г) 3-метилгептена-2.

22. Напишите структурные формулы углеводородов гексадиена-2,4; 2,3-диметилбутадиена-1,3; 2,5-гексадиена-1,5.

23. Напишите схему хлорирования о-нитротолуола (на холоду, в присутствии катализатора).

24. Напишите схему гидрирования бензола. В каких условиях происходит присоединение?

25. Напишите схему взаимодействия бензола с хлором (на холоду,

в присутствии  $AlCl_3$ ) и объясните механизм реакции.

26. Напишите уравнения реакций взаимодействия стирола (фенилэтилена): а) с хлористым водородом; б) с хлором; в) исчерпывающего гидрирования; г) полимеризации.

27. Напишите схемы следующих превращений:

- бензол  $\rightarrow$  толуол  $\rightarrow$  2,4,6-тринитротолуол;
- бензол  $\rightarrow$  хлорбензол  $\rightarrow$  фенол;
- бензол  $\rightarrow$  этилбензол  $\rightarrow$  стирол;
- $CH_4 \rightarrow CH_3Cl \rightarrow C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 \rightarrow C_2H_2 \rightarrow C_6H_6 \rightarrow C_6H_5Br$ ;
- $CH_4 \rightarrow C_2H_2 \rightarrow C_6H_6 \rightarrow C_6H_5CH_3 \rightarrow$  2,4,6-тринитротолуол;
- $C_3H_8 \rightarrow C_6H_{14} \rightarrow C_6H_{12} \rightarrow C_6H_6 \rightarrow C_6H_5NO_2$ ;
- этин  $\rightarrow$  этен  $\rightarrow$  этилхлорид  $\rightarrow$  бутан  $\rightarrow$  изобутан.

28. Напишите структурные формулы следующих соединений: а) 2,3-диметилбутанол-2; б) 2-метилбутин-3,-ол-2; в) 2,2,4-триметилпентанол-3; г) бутен-3,-ол-2; д) 2-метилпентанол-3; е) 2,3-диметилпентадиол-2,3; ж) 4,4-диметилпентен-1,-ол-3.

29. Напишите структурные формулы спиртов состава  $C_5H_{11}OH$  и назовите их. Укажите, какие из изомеров содержат ассиметричные атомы углерода.

30. Напишите структурные формулы первичных, вторичных и третичных спиртов состава  $C_6H_{13}OH$  и назовите их.

31. Напишите структурные формулы непредельных спиртов состава  $C_5H_9OH$ . Назовите их по системе ИЮПАК.

32. Получите гидратацией соответствующих этиленовых углеводородов следующие спирты: 3,3-диметилбутанол-2; 2-метилпентанол-2; 3-метилгексанол-2.

33. Химические свойства двухатомных спиртов на примере этиленгликоля.

34. Из пропилена получите глицерин и напишите для него реакции с уксусной и азотной кислотами.

35. Охарактеризуйте электронное строение молекулы фенола. На конкретных примерах покажите взаимовлияние гидроксильной группы и бензольного ядра в молекуле фенола.

36. Напишите уравнения реакций фенола со следующими веществами: а) бромной водой; б) разбавленной азотной кислотой; в) хлористым ацетилем; г) формальдегидом. Назовите продукты реакций.

37. Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения: а) бензол  $\rightarrow$  фенол  $\rightarrow$  фенолят

натрия → простой эфир; б) ацетилен → уксусный альдегид → этиловый спирт → винилэтиловый эфир.

38. Напишите структурные формулы следующих веществ: 2,3-диметилбутанала; 2,4-диметилпентанала; 5,5-диметилгексанона-3.

39. Напишите реакцию серебряного зеркала для следующих альдегидов: уксусного, пропионового, 3-метилпентанала.

40. Напишите уравнения реакций взаимодействия бензойной кислоты со следующими веществами: а) раствором едкого натра; б) абсолютным этиловым спиртом (в присутствии серной кислоты); в) пятихлористым фосфором. Назовите полученные соединения.

41. Химические свойства карбоновых кислот на примере муравьиной кислоты, изомаляной кислоты, щавелевой кислоты, акриловой кислоты, уксусной кислоты, молочной кислоты, гликолевой кислоты, пировиноградной кислоты, глиоксиловой кислоты.

42. Дегидратация  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -оксикислот. Продукты реакций.

43. Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить превращения:

- ацетилен → бензол → бромбензол → фенол → фенолят натрия;
- уксусная кислота → ацетат аммония → амид уксусной кислоты;
- уксусная кислота → ацетат натрия → метан;
- ацетилен → щавелевая кислота → муравьиная кислота → угольная кислота;
- толуол → бензойная кислота → хлорангидрид бензойной кислоты → этилбензоат.

44. Напишите структурную формулу триглицерида, образованного одним остатком пальмитиновой кислоты и двумя остатками олеиновой кислоты.

45. Гидрогенизация жира. Напишите схему гидрирования трилинолеата глицерина.

46. Напишите реакцию щелочного омыления линоленодипальмитина. Назовите полученные продукты.

47. Напишите схему кислотного гидролиза линолеодиолеина. Назовите образующиеся продукты.

48. Напишите реакцию щелочного омыления дистеаринпальмитина. Назовите полученные продукты.

49. Превращение жидких жиров в твердые на примере триглицерида олеолинолеолиноленоина.

50. Напишите уравнение реакции получения сложного эфира из терефталевой кислоты и этиленгликоля.

51. Напишите уравнение реакции гидролиза сложного эфира этилэтаноата.
52. Напишите уравнение реакции гидролиза лецитина.
53. Напишите уравнение реакции щелочного омыления пальмитодистеарина.
54. Напишите уравнение реакции гидрирования триолеина.
55. Структурная изомерия моносахаридов. Напишите структурные формулы альдогексозы, альдопентозы, кетогексозы, кетопентозы.
56. Стереои́зомерия моносахаридов. Напишите формулы *L*- и *D*-известных стереоизомеров галактозы.
57. Таутомерия моносахаридов. Покажите таутомерию рибозы, фруктозы, глюкозы.
58. Напишите  $\alpha$ - и  $\beta$ -пиранозные,  $\alpha$ - и  $\beta$ -фуранозные формы: а) глюкозы; б) фруктозы. Отметьте в них асимметрические углеродные атомы.
59. Перечислите способы получения моносахаридов. Напишите схему промышленного способа получения глюкозы.
60. На основании каких реакций можно доказать восстанавливающие свойства глюкозы? Напишите уравнения реакции.
61. Напишите схемы реакций восстановления: а) глюкозы; б) фруктозы.
62. Напишите схему образования сахарозы. Характерна ли для нее мутаротация?
63. Напишите схему получения лактозы. Приведите другое название дисахарида по системе ИЮПАК.
64. Напишите структурные формулы возможных таутомерных форм: а) мальтозы; б) целлобиозы.
65. Какие моносахариды получаются при гидролизе сахарозы? Напишите уравнения реакций.
66. Напишите схему получения  $\alpha$ -D-метилмальтозида,  $\alpha$ -D-метиллактозида.
67. Какой дисахарид – трегалоза или лактоза – образует озон? Напишите уравнение реакции.
68. Как реагирует сахароза с избытком уксусного ангидрида? Напишите уравнение реакции.
69. Почему лактоза и мальтоза восстанавливают реактив Фелинга, а сахароза не восстанавливает? Напишите уравнения реакций.
70. Какие монозы получаются при гидролизе мальтозы? Как их можно обнаружить? Напишите уравнения реакций.

71. Что такое гликоген? Какие типы гликозидных связей в нем имеются?

72. Напишите структурную формулу фрагмента клетчатки, используя формулу Хеуорса. Какие вещества сопровождают клетчатку в древесине?

73. Укажите, чем отличается строение крахмала от строения клетчатки. Приведите структурные формулы.

74. Напишите схемы гидролиза: а) крахмала; б) клетчатки. Какие промежуточные и конечные продукты образуются?

75. Напишите уравнения реакций: а) анилина с серной кислотой с образованием кислой соли; б) аммиака с серной кислотой с образованием средней соли.

76. Как будут реагировать с азотистой кислотой следующие соединения: а) этиламин; б) диэтиламин; в) триметиламин; г) хлорид анилина? Напишите схемы соответствующих реакций.

77. Какие органические соединения называются амидами? Покажите схематично электронное строение амидной группы. Объясните, почему амиды имеют слабые основные свойства.

78. Напишите схемы реакций получения ацетамида из: а) этилацетата; б) ацетата аммония; в) ацетонитрила.

79. Напишите структурные формулы изомерных аминокислот состава: а)  $C_3H_7O_2N$ ; б)  $C_4H_9O_2N$ . Укажите аминокислоты лишь с первичной аминогруппой.

80. Чем обусловлен амфотерный характер аминокислот? Напишите схемы реакций диссоциации при различной реакции среды (нейтральной, кислой и щелочной) следующих аминокислот: аланина, серина, фенилаланина.

81. Напишите в виде биополярных ионов формулы следующих аминокислот: а)  $\beta$ -аминопропионовой; б)  $\alpha$ -аминопропионовой; в)  $\gamma$ -аминомасляной.

82. Напишите схему реакции образования сложного эфира из триптофана и этанола. Укажите условия проведения реакции.

83. Напишите схемы реакций декарбоксилирования лизина и орнитина.

84. Напишите схемы образования двух возможных дипептидов из молекул: а) валина и тирозина; б) аланина и цистеина; в) аланина и аспарагиновой кислоты; г) серина и цистеина; д) триптофана и валина; е) глутаминовой кислоты и фенилаланина.

85. Напишите реакции взаимодействия аланина: а) с  $\text{HCl}$ ; б) с  $\text{NaOH}$ ; в) с  $\text{HNO}_2$ .

86. Напишите уравнение реакций между азотистой кислотой и следующими соединениями: а) лейцином; б) изолейцином; в) метионином.

87. Напишите уравнения химических реакций, характеризующие свойства триптофана.

88. Напишите уравнения гидролиза: а) аланил-глицина; б) фенил-аланил-серина; в) серил-цистеина; г) триптофил-серина; д) глицил-триптофана.

89. Какое количество различных по структуре трипептидов может быть получено при поликонденсации следующих групп аминокислот при условии, что каждая аминокислота входит в состав трипептида один раз? Напишите схемы реакции получения трипептидов из представленных аминокислот и дайте им названия.

а) фенилаланина, тирозина и глицина;

б) серина, цистина и гистидина;

в) аспарагиновой аминокислоты, тирозина и гистидина;

г) глутаминовой аминокислоты, тирозина и цистеина;

д) лизина, триптофана и цистеина.

90. Объясните первичную, вторичную и третичную структуру белковых молекул.

### Типовой вариант

1. Напишите структурные формулы изомерных альдегидов кетон, отвечающих молекулярной формуле  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ , назовите их.

2. Приведите примеры реакций с участием бензольного ядра фенола.

3. Напишите уравнение реакций окисления уксусного альдегида с помощью  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  и ацетона раствором  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  в концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

4. Химические свойства карбоновых кислот на примере акриловой кислоты.

5. Напишите уравнение реакции поровиноградной кислоты с  $\text{NH}_2\text{-NH}_2$  и  $\text{PCl}_5$ .

6. Напишите уравнение реакций синтеза фосфотидилсерина.

7. Осуществите превращение по схеме: этан  $\rightarrow$  бромэтан  $\rightarrow$  этанол  $\rightarrow$  этаналь  $\rightarrow$  этановая кислота  $\rightarrow$  этаноат натрия.

## **Блок 2. Витамины. Ферменты. Гормоны. Биологическое окисление**

### **Теоретические вопросы**

1. Предмет биохимии. Витамины как биологически активные вещества. Авитаминозы, гипо- и гипервитаминозы. Антивитамины.
2. Витамины. Общая характеристика, биологическое назначение. Номенклатура и классификация.
3. Общая характеристика водорастворимых витаминов.
4. Общая характеристика жирорастворимых витаминов.
5. Витамин А (ретинол). Физико-химическая характеристика. Биологическая роль. Патология. Источники витамина А. Дайте характеристику каротиноидам.
6. Витамины группы D (кальциферолы). Строение и биологическая роль. Провитамины. Рахит и остеомоляция.
7. Витамины группы К (филлохиноны). Участие витамина К в обмене веществ. Патология. Источники. Викасол.
8. Витамины группы Е (токоферолы). Природные источники. Значение для обмена веществ. Патологии, возникающие при недостатке или отсутствии витамина Е в рационе. Антиоксидантная активность.
9. Витамины F и Q (убихинон). Их значение для обмена веществ. Источники.
10. Витамин В<sub>1</sub> (тиамин). Источники. Биологическое назначение (кофермент ТПФ). Причины заболеваний, вызванные недостатком В<sub>1</sub> в кормах.
11. Витамин В<sub>2</sub> (рибофлавин). Биологическая роль. Участие в синтезе флавиновых ферментов. Источники и патология.
12. Витамин В<sub>3</sub> (пантотеновая кислота). Природные источники. Биологическая роль.
13. Коэнзим-А (Ко-А). Нарушения обмена веществ, вызванные недостатком витамина В<sub>3</sub>.
14. Витамин В<sub>5</sub> (никотиновая кислота). Структура и свойства. Природные источники. Биологическая роль. Кофермент НАД. Патология.
15. Витамин В<sub>6</sub> (пиридоксин). Структура и свойства (пиридоксол, пиридоксаль, пиридоксамин). Биологическая роль, кофермент пиридоксальфосфат. Источники. Патология.
16. Витамин В<sub>12</sub> (цианкобаламин). Витамин В<sub>9</sub> (фолиевая кислота). Природные источники. Биологическая роль и взаимосвязь этих вита-

минов. Нарушения обмена веществ при недостатке витаминов В<sub>12</sub> и В<sub>9</sub> в рационе.

17. Витамин С (аскорбиновая кислота). Источники. Биологическая роль. Нарушение обмена веществ при недостатке витамина С.

18. Витамин Н (биотин). Витамин Р (рутин). Природные источники. Биологическая роль. Патология.

19. Витаминоподобные вещества (парааминобензойная кислота, инозит, холин, линолевая кислота). Витамин U (метилметионин). Природные источники. Участие в обмене веществ.

20. Ферменты. Химическая природа. Одно- и двухкомпонентные ферменты. Понятие о зимогенах (проферментах) и изоферментах.

21. Кинетика и механизм действия ферментативных реакций. Активные центры ферментов.

22. Методы выделения и очистки ферментов. Определение активности ферментов. Единицы активности. Удельная активность.

23. Современная номенклатура и классификация ферментов. Характеристика классов ферментов, примеры.

24. Влияние температур на каталитическую активность ферментов.

25. Охарактеризуйте основные свойства ферментов. Напишите уравнение синтеза дипептида аланилваллина.

26. Охарактеризуйте два типа окислительно-восстановительных реакций, характерных для организма. Объясните механизм действия оксигеназа и дегидрогеназа на примере восстановления фумаровой кислоты в янтарную и окисления этанола в уксусную кислоту.

27. Как влияет реакция среды на активность ферментов? Напишите уравнение реакции изомеризации глюкозо-6-фосфат во фруктозо-6-фосфат. Классифицируйте фермент, катализирующий эту реакцию.

28. Понятие изоферментов, мультиферментных систем. Приведите примеры. Напишите уравнение реакции ферментативного гидролиза мальтозы, назовите фермент и определите его класс.

29. Кинетика и механизм действия ферментативных реакций. Какие соединения называют макроэргическими и какова их роль в энергетическом обмене клетки? Приведите примеры этих соединений.

30. Назначение ферментов дыхательной цепи ферментов. Какие конечные продукты окисления веществ образуются в организме при их участии?

31. Специфичность действия ферментов. Виды специфичности. Напишите уравнение реакции превращения пировиноградной кислоты в аланин в присутствии аммиака.

32. Свободное окисление и окисление, сопряженное с фосфорилированием. Их связь и значение для организма.

33. Дыхательная цепь ферментов. Приведите схему. Укажите точки образования АТФ.

34. Охарактеризуйте класс лиаз. Напишите уравнение реакции расщепления фруктозо-1,6-дифосфата до диоксиацетонфосфата и 3-фосфоглицеринового альдегида.

35. Понятие обмена веществ, анаболизма, катаболизма, основного обмена, продуктивного обмена. Как изменяется соотношение процессов ассимиляции и диссимиляции у растущих животных и при патологии?

36. Гормоны. Классификация по химической природе (три группы), механизму и характеру действия. Метод биосинтеза. Понятие гипо- и гиперфункций эндокринных желез.

37. Классификация гормонов по месту синтеза. Инсулин и его участие в регуляции обмена углеводов.

38. Гормоны гипоталамуса, гипофиза. Структура, свойства, регулирующее действие на функции эндокринных желез.

39. Механизм действия гормонов полипептидной и стероидной природы. Гормоны щитовидной железы. Структура, свойства, стимулирующее действие на обмен веществ. Патология щитовидной железы.

40. Гормоны паращитовидных желез. Структура, свойства, биологическая роль паратгормона и кальцитонина.

41. Гормоны мозгового слоя надпочечников. Структура, свойства, возбуждающее действие адреналина, норадреналина. Гипо- и гиперфункция надпочечников.

42. Гормоны поджелудочной железы. Структура, свойства. Влияние инсулина и глюкагона на углеводный и другие обмены веществ.

43. Гормоны коркового слоя надпочечников. Химическая природа глюкокортикоидов и минералокортикоидов. Их влияние на обмен белков, жиров и углеводов.

44. Гормоны половых желез. Место биосинтеза, химическая природа. Биологическая роль гормонов воспроизводства. Использование гормонов в животноводстве и ветеринарии.

45. Какие кортикостероиды вырабатываются в организме и каково их влияние на обмен веществ?

### **Типовой вариант**

1. Общая характеристика водорастворимых витаминов.
2. Охарактеризуйте витамин А.
3. Какие существуют методы выделения и очистки ферментов. Определение ферментативной активности.

4. Какие соединения называют макроэргическими и какова их роль в энергетическом обмене клетки? Приведите примеры этих соединений.

5. Какие кортикостероиды вырабатываются в организме и каково их влияние на обмен веществ?

### **Блок 3. Обмен углеводов. Обмен белков. Обмен жиров**

#### **Теоретические вопросы**

1. Пентофосфатный путь окисления углеводов, его значение для организма. Напишите уравнение реакции образования седогептулозы-7-фосфат и 3-фосфоглицеринового альдегида.

2. В каких отделах ЖКТ, с участием каких ферментов и до каких веществ происходит гидролиз углеводов? Приведите схему гидролиза крахмала.

3. Где и с участием каких механизмов происходит процесс всасывания моносахаридов в ЖКТ? Напишите уравнение реакции фосфорилирования фруктозы.

4. В чем заключается биологическое значение гликогена? Напишите реакцию фосфорилиза гликогена.

5. Особенности переваривания углеводов у многокамерных животных. Виды брожения. Как организм использует конечные продукты брожения?

6. Глюконеогенез. Его значение для организма. Напишите структурные формулы гликогена и соединений, из которых возможен его синтез.

7. Анаэробное окисление моносахаридов. Его ключевые реакции и значение для живой клетки.

8. Напишите схему окисления глюкозы до молочной кислоты. Приведите обоснованный расчет энергетического баланса гликолиза и гликогенолиза.

9. Аэробное окисление углеводов. Значение цикла Кребса для живого организма. Напишите уравнения реакций ЦТК, связанных с процессом окислительного фосфорилирования.

10. Опишите амфиболическую и водородную функции цикла трикарбоновых кислот. Приведите структурные формулы основных метаболитов ЦТК.

11. Напишите структурные формулы метаболитов, связывающих обмен жиров и углеводов. Напишите схему синтеза глицерина.

12. В виде каких метаболитов включаются белки, жиры и углеводы в ЦТК? Напишите схемы реакций окисления с последующим включением в ЦТК: а) аспарагиновой; б) глутаминовой; в) молочной; г) масляной кислот.

13. Какие конечные продукты образуются при окислении молекулы пировиноградной кислоты в аэробных условиях? Приведите уравнение реакции окислительного декарбоксилирования пирувата. Как на течение этой реакции влияет недостаток витамина В<sub>1</sub> в организме?

14. Какие вещества может использовать организм для биосинтеза гликогена и почему? Напишите схему синтеза гликогена из глюкозы.

15. Роль клетчатки в питании животных, особенности ее превращения у различных видов животных. Напишите схему реакций ферментативного гидролиза целлюлозы.

16. Значение гетерополисахаридов для живых организмов. Напишите структурные фрагменты молекул хондронтинсульфата, гепарина, гиалуриновой кислоты.

17. Опишите механизм ферментативного расщепления белка в ЖКТ животных. Напишите уравнения реакций поэтапного расщепления: а) фенилаланилвалилцистеина; б) тирозилсериллейцина.

18. Особенности превращения белков у многокамерных животных. Напишите схему реакций переваривания молочной кислоты в аланин.

19. Процесс микробного синтеза белка. Напишите схему реакций включения мочевины в микробный синтез аминокислот на примере синтеза глутаминовой кислоты.

20. Превращение циклических аминокислот в толстом отделе ЖКТ животных. Напишите схему реакции превращения триптофана в скатол и его обезвреживания с помощью ФАФС.

21. Факторы, определяющие пищевую полноценность белка. Напишите формулы незаменимых аминокислот.

22. Структура и биологическая роль гемоглобина. Приведите схему распада гемма до конечных продуктов и укажите пути удаления их из организма.

23. Реакции внутриклеточного распада аминокислот. Напишите уравнение реакции переаминирования между: а) щавелевоуксусной кислотой и аланином; б)  $\alpha$ -кетоглутаровой и щавелевоуксусной кислотами; в) пировиноградной кислотой и серином; г) фенилаланином и  $\alpha$ -кетоглутаровой кислотой.

24. Опишите роль аспарагиновой и глутаминовой кислот в процессах детоксикации аммиака. Напишите уравнение реакции синтеза:  
а) аспарагина; б) глутамина.

25. Опишите процессы дезаминирования аминокислот на примере дезаминирования: а) аспарагиновой кислоты; б) аланина; в) триптофана; г) фенилаланина; д) глицина; е) серина; ж) треонина.

26. Какие вещества образуются при декарбоксилировании аминокислот, какое биологическое действие они оказывают на организм? Напишите уравнение реакции декарбоксилирования: а) гистидина; б) цистеина; в) лизина; г) орнитина; д) гистидина; е) фенилаланина.

27. Напишите уравнения реакций основных путей образования аминокислот в организме на примере синтеза: а) аланина; б) аспарагиновой кислоты; в) глутаминовой кислоты; г) серина.

28. Опишите механизм биосинтеза белка. Напишите схему активации: а) серина; б) гистидина; в) валина; г) лейцина; д) метионина.

29. Напишите уравнения реакций основных путей обезвреживания аммиака в организме.

30. Опишите патологические процессы, происходящие в организме при нарушении белкового обмена. Напишите уравнения реакций обезвреживания этиламина.

31. Конечные продукты азотистого обмена у животных, птицы и рыбы. Какие аминокислоты участвуют в процессе обезвреживания аммиака в организме и каким образом?

32. Объясните, с чем связано образование мочевой кислоты у птиц как конечного продукта азотистого обмена.

33. Резервные жиры организма. Их состав и значение для организма животных. Влияет ли фактор кормления на состав резервных жиров и каким образом? Напишите схему реакций синтеза линоленостеаринобутирата.

34. Липиды кормов и кормовых средств. Приведите схему гидролиза лецитина и укажите пути дальнейшего использования продуктов гидролиза в организме животного.

35. Опишите процесс переваривания нейтральных жиров ЖКТ сельскохозяйственных животных. Напишите поэтапный гидролиз конретного жира.

36. Желчные кислоты, их строение и участие в процессе переваривания жиров. Опишите механизм всасывания жирных кислот. Приведите структурные формулы основных ЖК.

37. Особенности переваривания липидов у новорожденных животных. Напишите уравнение реакции гидролиза пальмитостеарина и укажите пути использования продуктов гидролиза в организме.

38. Фосфолипиды, их состав, строение и участие в метаболизме. Напишите схему поэтапного гидролиза кефалина, содержащего остатки пальмитиновой и олеиновой кислот.

39. Какие вещества являются общими для всех фосфолипидов? Укажите источники их поступления в клетку. Напишите уравнение синтеза серилфосфатида.

40. Какие конечные продукты образуются в результате  $\beta$ -окисления жирных кислот с нечетным числом атомов углерода? Раскройте этот вопрос на примере  $\beta$ -окисления валериановой кислоты.

41. Особенности переваривания липидов в преджелудках жвачных животных. Напишите уравнения реакции гидрирования олеиновой кислоты.

42. Опишите механизм ресинтеза жира в слизистой кишечника на примере поэтапного синтеза олеодистеарина. Укажите различия в процессах ресинтеза в слизистой ЖКТ и тканевого синтеза жиров.

43. Как влияют поступающие с кормом холестерол и жирные кислоты на биосинтез холестерина в организме.

44. Пути использования организмом жирных кислот, поступающих в ткани из ЖКТ. Напишите уравнение реакции активирования пальмитиновой и уксусной кислот.

45. Пропишите схему реакций  $\beta$ -окисления: а) капроновой; б) масляной; в) каприловой кислот и рассчитайте энергетический баланс их окисления, учитывая последующее окисление остатков уксусной кислоты в реакциях ЦТК.

46. Укажите необходимые условия и пропишите цитоплазматический биосинтез: а) масляной; б) капроновой; в) каприловой кислот.

47. Каковы пути окисления ненасыщенных жирных кислот в организме? Пропишите реакцию изомеризации 3,4-дисульфидной кислоты в 2,3-трансизомер.

48. Напишите уравнения реакций образования кетоновых тел в организме. Каковы причины и последствия усиленного синтеза этих веществ в организме?

49. Напишите схему реакций внутриклеточного перехода от обмена углеводов к обмену жиров на примере синтеза глицерина.

50. Напишите схему реакций внутриклеточного превращения продуктов окисления жиров в аминокислоты на примере синтеза аланина.

51. Напишите схему реакций поэтапного биосинтеза: а) олеопальмитостеарина; б) пальмитодистеарина; в) олеинодипальмитина.

52. Составьте схему гидролиза нуклеиновых кислот в желудочно-кишечном тракте. Напишите уравнение гидролиза гуаниловой кислоты.

53. Механизм биосинтеза пуриновых оснований. Какие вещества служат источниками атомов углерода и азота при образовании пуринового ядра? Напишите формулы этих веществ.

54. Механизм синтеза пиримидиновых оснований. Напишите формулы веществ, необходимых для синтеза пиримидиновых оснований, формулы пиримидиновых оснований.

55. Напишите структурные формулы нуклеотидов, входящих в молекулу ДНК. Опишите механизм образования полинуклеотидов.

56. Напишите схему реакций тканевого гидролиза уридиновой и тимидиновой кислот. Как организм использует конечные продукты гидролиза?

57. Напишите схему реакций образования конечных продуктов распада пуриновых и пиримидиновых оснований.

58. Структура, свойства, роль воды в обмене веществ. Напишите уравнение дегидратации яблочной кислоты.

59. Опишите механизм участия воды в гидратации белков. Приведите примеры реакций с участием эндогенной и экзогенной молекулы воды.

60. Укажите источники поступления воды для живого организма и возрастные изменения количества свободной и иммобилизированной воды в тканях.

61. Понятие кислотно-основного равновесия. Какие гормоны регулируют водно-солевой обмен в организме животных. Ацидоз, алкалоз.

62. Приведите сравнительную характеристику электролитного состава различных тканей (крови, мышечной, нервной).

63. Опишите участие в обмене веществ химического элемента: а) калия; б) натрия; в) кальция; г) магния; д) фосфора; е) серы; ж) железа; з) иода; и) кобальта; к) селена; л) марганца; м) цинка. Какие патологии возникают при нарушении обмена данного элемента?

64. Приведите примеры применения макро- и микроэлементов в зоотехнии и ветеринарии.

65. Химический состав крови животных. Приведите сравнительную характеристику изменений в составе крови в зависимости от возраста и физиологического состояния организма.

66. Составьте формулы буферных систем крови. Раскройте механизм их действия на примере гемо- и оксигемоглобинового буфера.

67. Определение каких показателей крови составляет общую биохимическую картину крови и почему?
68. Основные белки крови, их биологическое назначение.
69. Промежуточные продукты обмена липидов, белков и углеводов в крови и пути их удаления из крови.
70. Форменные элементы крови. Особенности обмена веществ.
71. Роль ферментов лейкоцитов в фагоцитарной функции крови. Напишите уравнение реакции гидролиза трипептида аспарагиллейцилаланина.
72. Приведите сравнительную характеристику химического состава плазмы крови и мочи.
73. Диагностическое значение определения химического состава мочи. Напишите уравнение реакции декарбоксилирования ацетоуксусной кислоты.
74. Пропишите схемы реакций образования составляющих компонентов мочи: гипуровой кислоты, аммонийных солей, мочевой кислоты, орнитуровой кислоты.
75. Особенности обмена веществ в мышечной ткани. Напишите уравнение реакции образования молочной кислоты и укажите пути ее использования организмом.
76. Приведите характеристику основных белков мышц. Напишите уравнение реакции биосинтеза глицилтриптофана.
77. Опишите химизм мышечного сокращения. Напишите схему реакции синтеза актомиозина.
78. Укажите возможные источники энергообеспечения работающей мышцы. Напишите уравнения реакций перефосфорилирования молекул АДФ.
79. Опишите участие ионов кальция, калия, магния в процессах мышечного сокращения. Напишите уравнение реакции синтеза креатинфосфата.
80. Опишите процессы, происходящие в тканях после убоя животного. Напишите уравнения реакций образования фосфорной и молочной кислот в тканях.
81. Участие клеток печени в белковом обмене организма. Напишите уравнение реакции синтеза глутатиона.
82. Участие клеток печени в углеводном обмене. Напишите уравнение реакции изомеризации монозы в глюкозу с последующим ее фосфорилированием.
83. Участие клеток печени в липидном обмене. Напишите схему реакций биосинтеза кефалина, содержащего остатки линолевой и линоленовой кислот.

84. Опишите роль печени как депо минеральных веществ и витаминов. Напишите уравнение реакции превращения  $\beta$ -каротина в две молекулы витамина А.

85. Опишите детоксикационную функцию печени. Напишите уравнение реакции обезвреживания крезола.

86. Изменение концентрации или появление каких веществ в крови наблюдается при нарушении функций печени. Напишите уравнение образования орнитуровой кислоты.

87. Приведите сравнительную характеристику химического состава различных отделов нервной системы. Напишите уравнение реакции, катализируемое карбоангидразой, объясните механизм ее действия.

88. Особенности обмена белков, углеводов и липидов в нервной ткани. Приведите примеры реакций катализируемых: а) пероксидазой; б) пируватдегидрогеназной системой ферментов.

89. Приведите сравнительную характеристику химического состава молока и молозива. Напишите уравнение реакции синтеза конкретного трипептида.

90. Какие вещества служат первоисточником при биосинтезе белков, жиров и углеводов молока. Напишите схему реакций синтеза: а) олеопальмитобутирата; б) лактозы; в) глицилизолейциласпарагилвалина.

91. Биологическое назначение молока и молозива. Изменение химического состава молока и свойств молока в течение лактации.

92. Химический состав и биологическое назначение яйца. Напишите схему реакций поэтапного гидролиза тирозилвалилцистеина.

93. Биосинтез составных частей яйца. Напишите уравнение реакции взаимодействия холестерина и пальмитиновой кислоты.

### **Типовой вариант**

1. Переваривание углеводов в ЖКТ. Особенности данного процесса у жвачных животных. Гидролиз мальтозы.

2. Реакция образования ЦУК и ее значение для живой клетки.

3. Уравнение реакции расщепления дипептидазой аланилцистеина.

4. Биосинтез аминокислот в организме животных. Уравнение переаминирования между аспарагиновой и пировиноградной кислотами.

5. Биологическая роль нуклеиновых кислот (НК). Расщепление и всасывание НК в ЖКТ.

6. Роль соляной кислоты в переваривании пищевых веществ.

7. Формулы ключевых метаболитов, обеспечивающих взаимосвязь углеводного и жирового обменов.

# ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

## Тема 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

**Органическая химия** – это раздел химической науки, в котором изучаются соединения углерода: их строение, свойства, способы получения и практического использования.

Соединения, в состав которых входит углерод, называются **органическими**. Кроме углерода, они почти всегда содержат водород, довольно часто – кислород, азот и галогены, реже – фосфор, серу и другие элементы. Благодаря особым свойствам элемента углерода, органические соединения очень многочисленны. Сейчас известно свыше 20 миллионов синтетических и природных органических веществ, и их число постоянно возрастает. Сырьевыми источниками органических веществ являются нефть, природный газ, попутные нефтяные газы, каменный и бурый угли, горючие сланцы, торф, древесина и сельскохозяйственные растения.

Природные органические вещества и их превращения лежат в основе явлений жизни. Поэтому органическая химия является химическим фундаментом биологической химии и молекулярной биологии – наук, изучающих процессы, происходящие в клетках организмов на молекулярном уровне. Исследования в этой области позволяют глубже понять суть явлений живой природы.

Многочисленность и разнообразие органических соединений требуют особого внимания к их классификации. В основу этой классификации положены два главных структурных признака молекул:

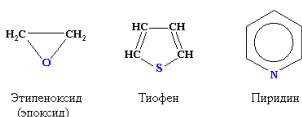
- строение углеродной цепи;
- наличие и природа функциональной группы.

*Углеродная цепь* (углеродный скелет молекулы) – последовательность химически связанных между собой атомов углерода. *Функциональная группа* – атом или группа атомов, определяющие химические свойства соединения и его принадлежность к конкретному классу.

В зависимости от строения углеродной цепи органические соединения делят на ациклические и циклические.

Гетероциклические соединения содержат в цикле, кроме атомов углерода, один или несколько атомов других элементов – гетероатомов (от греч. heteros – другой, иной): кислород, азот, серу и др.

### Гетероциклические соединения



Соединения, в состав которых входят только углерод и водород, называются **углеводородами**. Другие, более многочисленные органические соединения можно рассматривать как производные углеводородов, которые образуются при введении в углеводороды функциональных групп, содержащих другие элементы. В зависимости от природы функциональных групп органические соединения делят на классы. Некоторые наиболее характерные функциональные группы и соответствующие им классы соединений приведены в таблице.

### Важнейшие функциональные группы

Функциональная группа		Класс соединения
Обозначение	Название	
-F, -Cl, -Br, -I	Галоген	Галогенопроизводные углеводородов
-OH	Гидроксил	Спирты, фенолы
>C=O	Карбонил	Альдегиды, кетоны
-COOH	Карбоксил	Карбоновые кислоты
-NH <sub>2</sub> , >NH, >N-	Аминогруппа	Амины
-NO <sub>2</sub>	Нитрогруппа	Нитросоединения
-SO <sub>3</sub> H	Сульфогруппа	Сульфокислоты

В состав молекул органических соединений могут входить две или более одинаковых или различных функциональных группы. Например:

**HO-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-OH** (этиленгликоль);

**NH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-COOH** (аминокислота глицин).

Все классы органических соединений взаимосвязаны. Переход от одних классов соединений к другим осуществляется в основном за счет превращения функциональных групп без изменения углеродного скелета. Соединения каждого класса составляют гомологический ряд. В каждом гомологическом ряду последующий член ряда отличается от предыдущего на группу -CH<sub>2</sub>- (гомологическая разница). Все члены одного гомологического ряда имеют сходное строение и близкие химические свойства.

Многие органические реакции являются сложными и идут в несколько элементарных стадий (последовательных или параллельных). Общая скорость сложной химической реакции определяется скоростью ее наиболее медленной (лимитирующей) стадии. Лимитирующей является стадия с более высокой энергией активации  $E_a'$ . В случае сложных реакций на некоторых стадиях образуются нестабильные промежуточные частицы – органические ионы или свободные радикалы. Их относительная устойчивость и, следовательно, вероятность образования растут с увеличением возможности делокализации (рассредоточения) заряда в ионе или неспаренного электрона в радикале.

Классификацию органических реакций проводят на основе общих для всех реакций признаков: строение и состав исходных и конечных продуктов; изменение степеней окисления реагирующих частиц; тепловой эффект реакции; ее обратимость и т. п. Наиболее часто органические реакции классифицируют по следующим признакам:

по конечному результату реакции (на основе сопоставления строения исходных и конечных продуктов);

по минимальному числу частиц, участвующих в элементарной реакции;

по механизму разрыва ковалентных связей в реагирующих молекулах.

Тип многостадийных реакций определяют по самой медленной (лимитирующей) стадии. Различные способы классификации часто сочетаются друг с другом.

В основе этой классификации лежит сопоставление числа, состава и строения исходных и конечных продуктов по уравнению реакции. В соответствии с конечным результатом различают следующие типы органических реакций:

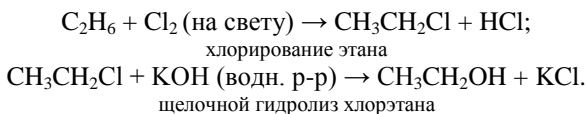
- замещение;
- присоединение;
- отщепление (элиминирование);
- изомеризация (перегруппировка);
- разложение.

Если процесс сопровождается изменением степени окисления атома углерода в органическом соединении, то выделяют также реакции окисления и восстановления. Окисление и восстановление органических веществ может проходить по какому-либо из названных выше типов реакций.

## Реакции замещения

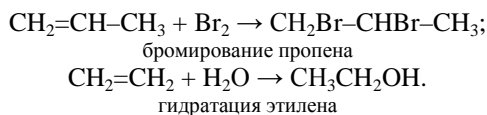
Атом (или атомная группировка) в молекуле органического соединения замещается на другой атом (или атомную группировку):  
 $AB + C \rightarrow AC + B$ .

Реакции этого типа можно рассматривать как реакции обмена, но в органической химии предпочтительней термин «замещение», поскольку в обмене участвует (замещается) лишь меньшая часть органической молекулы. Примеры:



## Реакции присоединения

В реакциях присоединения молекула органического соединения и молекула простого или сложного вещества соединяются в новую молекулу, при этом другие продукты реакции не образуются:  $A + B \rightarrow C$ .  
Примеры:



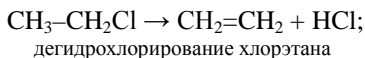
К реакциям присоединения относятся также реакции полимеризации:  $nA \rightarrow A_n$ .

Например, образование полиэтилена:  $n\text{CH}_2=\text{CH}_2 \rightarrow (-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$ .

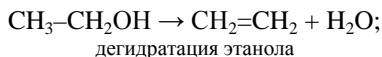
## Реакции отщепления

В реакции отщепления (элиминирования) происходит отрыв атомов или атомных групп от молекулы исходного вещества при сохранении ее углеродного скелета:  $A \rightarrow B + C$ . Например:

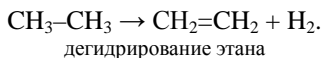
отщепление хлороводорода (при действии на хлоралкан спиртовым раствором щелочи):



отщепление воды (при нагревании спирта с серной кислотой):



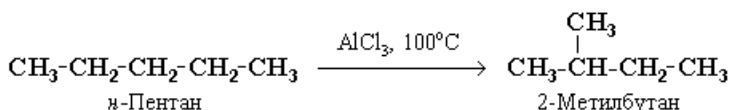
отщепление водорода от алкана (в присутствии катализатора):



### Реакции изомеризации или перегруппировки

В органическом соединении происходит переход (миграция) отдельных атомов или групп атомов от одного участка молекулы к другому без изменения ее качественного и количественного состава:  $A \rightarrow B$ .

В этом случае исходное вещество и продукт реакции являются изомерами (структурными или пространственными). Например, в результате перегруппировки может изменяться углеродный скелет молекулы:



### Реакции разложения

В результате реакции разложения из молекулы сложного органического вещества образуется несколько менее сложных или простых веществ:  $A \rightarrow B + C + \dots$

К этому типу реакций относится процесс крекинга – расщепление углеродного скелета крупных молекул при нагревании и в присутствии катализаторов:  $C_nH_{2n+2} \rightarrow C_mH_{2m+2} + C_pH_{2p}$  ( $n = m + p$ ).

Например:  $C_{10}H_{22} \rightarrow C_5H_{12} + C_5H_{10}$ .

Реакции разложения при высокой температуре называют пиролизом, например:  $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2$ , пиролиз метана (1000 °С).

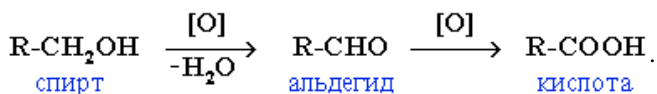
### Реакции окисления и восстановления

Окислительно-восстановительные реакции – реакции, в ходе которых меняется степень окисления атомов, входящих в молекулу. Для органических реакций этого типа применимы те же законы, что и

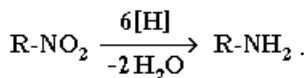
для неорганических. Отличием является то, что в органической химии окислительно-восстановительные процессы рассматриваются прежде всего по отношению к органическому веществу и связываются с изменением степени окисления углерода, являющегося реакционным центром молекулы. Эти реакции могут проходить по типу реакций присоединения, отщепления, замещения и т. п. Если атом углерода в органической молекуле окисляется (отдает электроны более электроотрицательному атому), то этот процесс относят к реакциям окисления, так как продукт восстановления окислителя (обычно неорганическое вещество) не является конечной целью данной реакции. И наоборот, реакцией восстановления считают процесс восстановления атома углерода в органическом веществе.

Часто в органической химии ограничиваются рассмотрением реакций окисления и восстановления как реакций, связанных с потерей и приобретением атомов водорода и кислорода.

Вещество окисляется, если оно теряет атомы Н и (или) приобретает атомы О. Кислородсодержащий окислитель обозначают символом [O]:



Вещество восстанавливается, если оно приобретает атомы Н и (или) теряет атомы О. Восстановитель обозначают символом [H]:



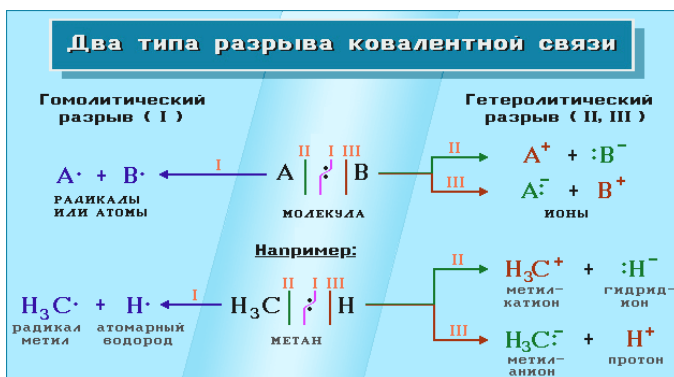
Степень окисления углерода в его соединениях изменяется в диапазоне от  $-4$  (например, в метане  $\text{CH}_4$ ) до  $+4$  (в  $\text{CO}_2$ ). В органических соединениях атомы углерода в одной и той же молекуле могут иметь разные степени окисления:  $^{-3}\text{CH}_3$ – $^{-1}\text{CH}_2$ –ОН.

### Классификация реакций по механизму разрыва связей

В зависимости от способа разрыва ковалентной связи в реагирующей молекуле органические реакции подразделяются на радикальные и ионные. Ионные реакции, в свою очередь, делятся по характеру реагента, действующего на молекулу, на электрофильные и нуклеофильные. Разрыв ковалентной связи может происходить двумя способами, обратными механизмам ее образования.

Разрыв связи, при котором каждый атом получает по одному электрону из общей пары, называется *гомолитическим*. В результате гомолитического разрыва образуются сходные по электронному строению частицы, каждая из которых имеет неспаренный электрон. Такие частицы называются *свободными радикалами*.

Если при разрыве связи общая электронная пара остается у одного атома, то такой разрыв называется *гетеролитическим*. В результате образуются разноименно заряженные ионы – катион и анион. Если заряд иона сосредоточен на атоме углерода, то катион называют *карбокатионом*, а анион – *карбанионом*.



Гомолитический разрыв более характерен для неполярных и слабополярных связей, а гетеролитический – для полярных.

Углеводороды – органические соединения, в состав которых входят только два элемента: углерод и водород. Например:  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_6H_6$ ,  $C_8H_{10}$  и т. п. В общем виде –  $C_xH_y$ . Углеводороды имеют важное научное и практическое значение. Во-первых, представления о строении и свойствах этих веществ служат основой для изучения органических соединений других классов, так как молекулы любых органических веществ содержат углеводородные фрагменты. Во-вторых, знание свойств углеводородов позволяет понять исключительную ценность этих соединений как исходного сырья для синтеза самых разнообразных органических веществ, широко используемых человеком.

Углеводороды содержатся в земной коре в составе нефти, каменно-го и бурого углей, природного и попутного газов, сланцев и торфа. Запасы этих полезных ископаемых на Земле не безграничны. Однако

до настоящего времени они расходуются главным образом в качестве топлива (двигатели внутреннего сгорания, тепловые электростанции, котельные) и лишь незначительная часть используется как сырье в химической промышленности.

**Алканы**, имея общую формулу  $C_nH_{2n+2}$ , представляют собой ряд родственных соединений с однотипной структурой, в котором каждый последующий член отличается от предыдущего на постоянную группу атомов ( $-CH_2-$ ). Суффикс *-ан* является характерным для названия всех алканов.

Характерной особенностью алканов (предельные углеводороды, парафины) является то, что они имеют открытые цепи и атомы углерода в их молекуле связаны между собой только  $\sigma$ -связями.

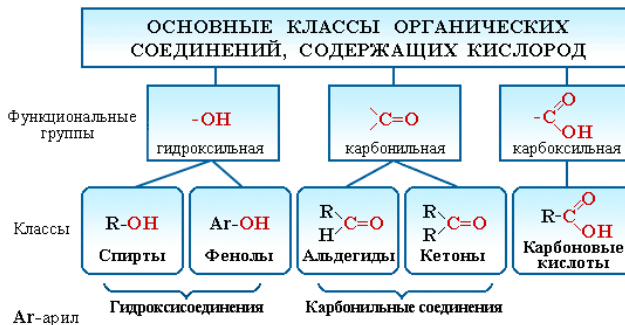
Первые углеводороды их гомологического ряда получили случайные названия (исторические, тривиальные):  $CH_4$  – метан;  $CH_3-CH_3$  или  $C_2H_6$  – этан;  $CH_3-CH_2-CH_3$  или  $C_3H_8$  – пропан;  $CH_3-(CH_2)_2-CH_3$  или  $C_4H_{10}$  – бутан. В основу названий следующих неразветвленных гомологов были положены греческие числительные, соответствующие числу атомов углерода, и суффикс *-ан*. Гомологический ряд алканов легко составить, прибавляя каждый раз к предыдущей цепочке группу  $-CH_2-$ :  $C_5H_{12}$  – пентан;  $C_6H_{14}$  – гексан;  $C_7H_{16}$  – гептан,  $C_8H_{18}$  – октан;  $C_9H_{20}$  – нонан;  $C_{10}H_{22}$  – декан и т. д.

Гомологи отличаются молекулярной массой и, следовательно, физическими характеристиками. С увеличением числа углеродных атомов в молекуле алкана (с ростом молекулярной массы) в гомологическом ряду наблюдается закономерное изменение физических свойств гомологов (переход количества в качество): повышаются температуры кипения и плавления, увеличивается плотность. Алканы от  $CH_4$  до  $C_4H_{10}$  – газы, от  $C_5H_{12}$  до  $C_{17}H_{36}$  – жидкости, далее – твердые вещества.

Если от молекулы предельного углеводорода отнять атом водорода, то остаток называется алкильным радикалом  $R^*$ :  $CH_3-$  – метил;  $C_2H_5-$  – этил и т. д.

## **Тема 2. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРОЕНИЯ И РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

Существует огромное число органических соединений, в состав которых наряду с углеродом и водородом входит кислород. Атом кислорода содержится в различных функциональных группах, определяющих принадлежность соединения к конкретному классу.



Соединения каждого класса образуют различные производные. Например, к производным спиртов относятся простые эфиры  $ROR'$ , к производным карбоновых кислот – сложные эфиры  $RCOOR'$ , амиды  $RCONH_2$ , ангидриды  $(RCO)_2O$ , хлорангидриды  $RCOCl$  и т. д.

Кроме того, большую группу составляют гетерофункциональные соединения, содержащие различные функциональные группы:

гидроксиальдегиды  $HO-R-CHO$ ;

гидроксикетоны  $HO-R-CO-R'$ ;

гидроксикислоты  $HO-R-COOH$  и т. п.

**Спирты** – соединения алифатического ряда, содержащие одну или несколько гидроксильных групп. Общая формула спиртов с одной гидроксигруппой –  $R-OH$ . Спирты классифицируют по различным структурным признакам.

По числу гидроксильных групп спирты подразделяются на одноатомные (одна группа  $-OH$ ), многоатомные (две и более групп  $-OH$ ).

Современное название многоатомных спиртов – полиолы (диолы, триолы и т. д.).

Примеры:

двухатомный спирт –  $HO-CH_2-CH_2-OH$  этиленгликоль (этандиол);

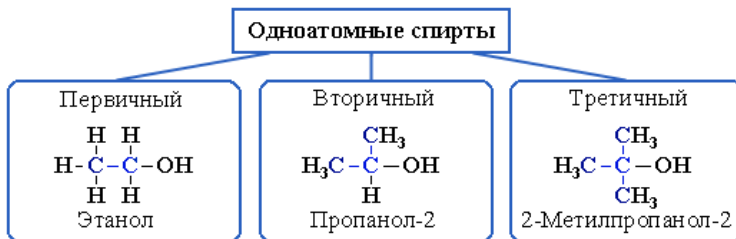
трехатомный спирт –  $HO-CH_2-CH(OH)-CH_2-OH$  глицерин (пропантриол-1,2,3).

В зависимости от того, с каким атомом углерода (первичным, вторичным или третичным) связана гидроксигруппа, различают спирты:

первичные  $R-CH_2-OH$ ,

вторичные  $R_2CH-OH$ ,

третичные  $R_3C-OH$ .



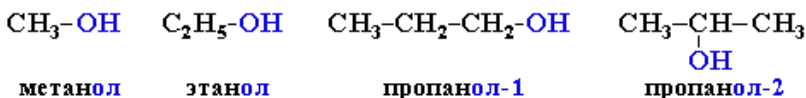
В многоатомных спиртах различают первично-, вторично- и третичноспиртовые группы. Например, молекула трехатомного спирта глицерина содержит две первичноспиртовые (HO–CH<sub>2</sub>–) и одну вторичноспиртовую (–CH(OH)–) группы.

По строению радикалов, связанных с атомом кислорода, спирты подразделяются следующим образом:

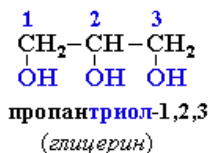
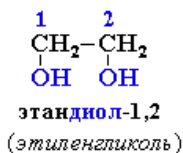
- предельные, или алканола (например, CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>–OH);
- непредельные, или алкенола (CH<sub>2</sub>=CH–CH<sub>2</sub>–OH);
- ароматические (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH<sub>2</sub>–OH).

Систематические названия даются по названию углеводорода с добавлением суффикса *-ол* и цифры, указывающей положение гидроксигруппы (если это необходимо).

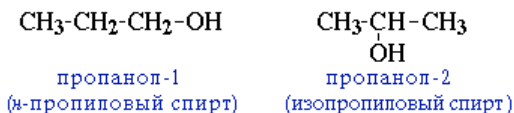
Например:



Нумерация ведется от ближайшего к OH-группе конца цепи. Цифра, отражающая местоположение OH-группы, в русском языке обычно ставится после суффикса *-ол*. Это разгружает словесную часть названия от цифр (например, 2-метилбутанол-1). В англоязычной литературе цифру ставят перед названием главной цепи: 2-метил-1-бутанол. Правила ИЮПАК разрешают учитывать особенности национального языка. По другому способу (радикально-функциональная номенклатура) названия спиртов производят от названий радикалов с добавлением слова «спирт». В соответствии с этим способом приведенные выше соединения называют: метиловый спирт, этиловый спирт, n-пропиловый спирт, изопропиловый спирт. В названиях многоатомных спиртов (полиолов) положение и число гидроксильных групп указывают соответствующими цифрами и суффиксами *-диол* (две OH-группы), *-триол* (три OH-группы) и т. д. Например:



Для спиртов характерна структурная изомерия:  
 изомерия положения OH-группы (начиная с C<sub>3</sub>):



углеродного скелета (начиная с C<sub>4</sub>); например, формуле C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>OH соответствует четыре структурных изомера:



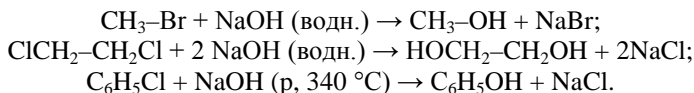
межклассовая изомерия с простыми эфирами (например, этиловый спирт CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>-OH и диметиловый эфир CH<sub>3</sub>-O-CH<sub>3</sub>).

**Фенолы** – гидроксисоединения, в молекулах которых OH-группы связаны непосредственно с бензольным ядром.



## Получение спиртов и фенолов

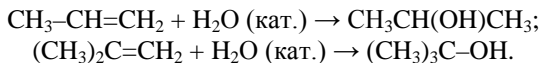
1. Щелочной гидролиз галогенуглеводородов:



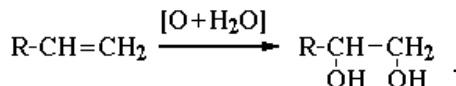
2. Гидратация алкенов:



Присоединение воды к несимметричным алкенам идет по правилу Марковникова с образованием вторичных и третичных спиртов:



3. Гликоли получают окислением алкенов щелочным раствором  $\text{KMnO}_4$ :



4. Кумольный способ получения фенола. Преимущества метода – безотходная технология (выход полезных продуктов более 99 %) и экономичность. В настоящее время кумольный способ используется как основной в мировом производстве фенола:

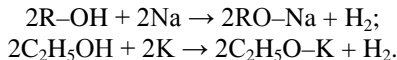


## Химические свойства спиртов и фенолов

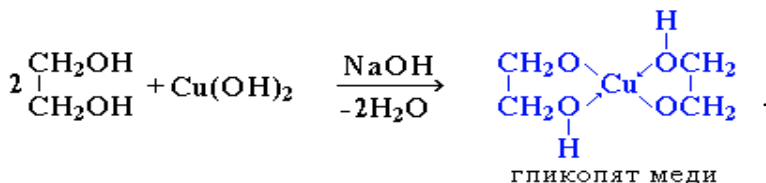
**Реакции по связи O–H.** Легкость этих реакций и строение образующихся продуктов зависят от строения углеводородного радикала и

взаимного влияния атомов. Реакционная способность одноатомных спиртов в реакциях по связи О–Н:  $\text{CH}_3\text{OH} >$  первичные  $>$  вторичные  $>$  третичные. К наиболее характерным реакциям гидроксисоединений, идущим с разрывом связи О–Н, относятся:

реакции замещения атома водорода на металл (кислотные свойства) – одноатомные спирты реагируют с активными металлами (Na, K, Mg, Al и др.), образуя соли – алкоголяты:



Многоатомные спирты с ОН-группами у соседних атомов углерода (этиленгликоль, глицерин и т. п.) являются более сильными кислотами, чем одноатомные спирты. Такие спирты, в отличие от одноатомных, взаимодействуют с раствором гидроксида меди(II) в присутствии щелочи, образуя комплексные соединения, окрашивающие раствор в ярко-синий цвет (качественная реакция):

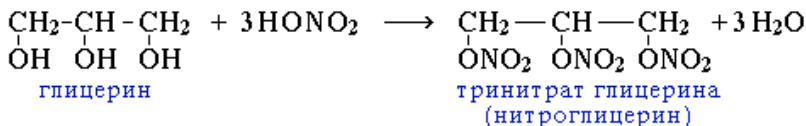
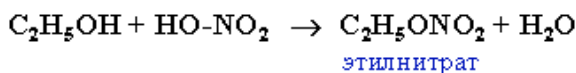
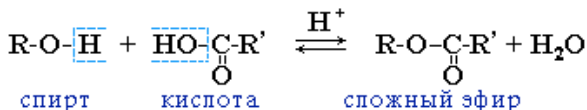


Фенолы являются более сильными кислотами, чем спирты и вода, так как за счет участия неподеленной электронной пары кислорода в сопряжении с  $\pi$ -электронной системой бензольного кольца полярность связи О–Н увеличивается.

Фенолы реагируют с гидроксидами щелочных и щелочноземельных металлов, образуя соли – феноляты:  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{ONa} + \text{H}_2\text{O}$ .

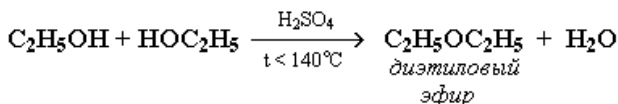
Для обнаружения фенолов используется качественная реакция с хлоридом железа(III). Одноатомные фенолы дают устойчивое синефиолетовое окрашивание, что связано с образованием комплексных соединений железа.

**Реакции замещения атома водорода на остаток кислоты (образование сложных эфиров).** Спирты вступают в реакции с минеральными и органическими кислотами, образуя сложные эфиры. Реакция обратима (обратный процесс – гидролиз сложных эфиров).

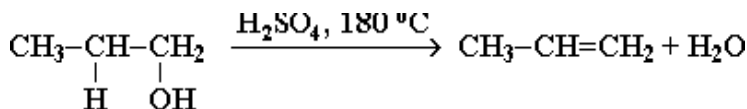


Реакционная способность одноатомных спиртов в этих реакциях убывает от первичных к третичным. Фенолы не образуют сложные эфиры в реакциях с кислотами.

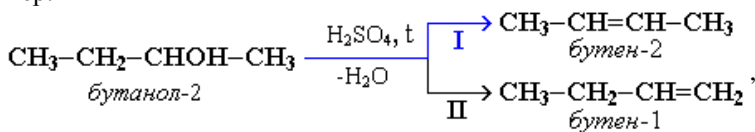
При межмолекулярной дегидратации спиртов также происходит нуклеофильное замещение: OH-группа в одной молекуле спирта замещается на группу OR другой молекулы:



**Реакции дегидратации спиртов.** Отщепление воды от молекул спирта (дегидратация спиртов) в зависимости от условий происходит как внутримолекулярная или межмолекулярная реакция. Внутримолекулярная дегидратация спиртов с образованием алкенов идет в присутствии концентрированной серной кислоты при повышенной температуре:

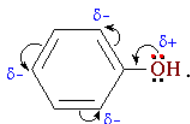


В тех случаях, когда возможны два направления реакции, например:



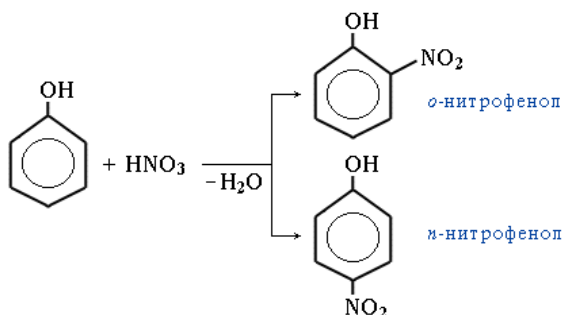
дегидратация идет преимущественно в направлении I, т. е. по правилу Зайцева – с образованием более замещенного алкена (водород отщепляется от менее гидrogenизированного атома углерода).

Взаимное влияние атомов в молекуле фенола проявляется не только в особенностях поведения гидроксигруппы, но и в большей реакционной способности бензольного ядра. Гидроксильная группа повышает электронную плотность в бензольном кольце, особенно в орто- и пара-положениях:

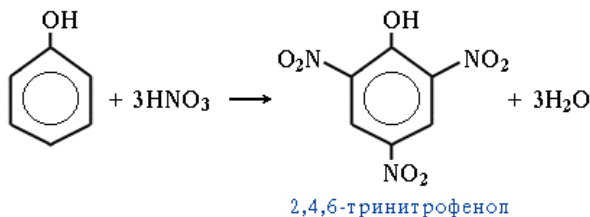


Поэтому фенол значительно активнее бензола вступает в реакции замещения в ароматическом кольце.

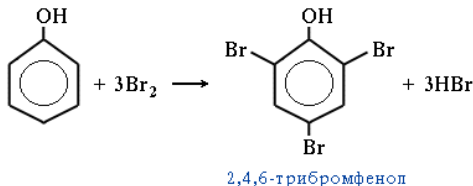
**Нитрование.** Под действием 20%-й азотной кислоты  $\text{HNO}_3$  фенол легко превращается в смесь орто- и пара-нитрофенолов:



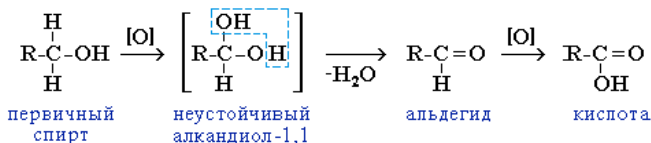
При использовании концентрированной  $\text{HNO}_3$  образуется 2,4,6-тринитрофенол (пикриновая кислота):



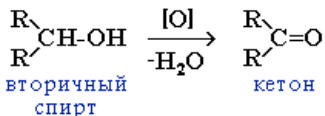
**Галогенирование.** Фенол легко при комнатной температуре взаимодействует с бромной водой с образованием белого осадка 2,4,6-трибромфенола (качественная реакция на фенол):



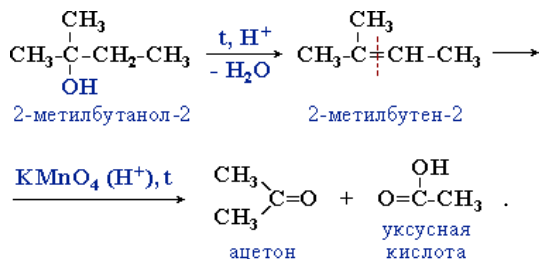
**Реакции окисления.** Окислители –  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{O}_2 + \text{катализатор}$ . Легкость окисления спиртов уменьшается в ряду: первичные  $\geq$  вторичные  $\gg$  третичные. Первичные спирты при окислении образуют альдегиды, которые затем легко окисляются до карбоновых кислот:



При окислении вторичных спиртов образуются кетоны:

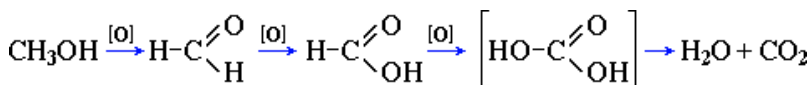


Третичные спирты более устойчивы к действию окислителей. Они окисляются только в жестких условиях (кислая среда, повышенная температура), что приводит к разрушению углеродного скелета молекулы и образованию смеси продуктов (карбоновых кислот и кетонов с меньшей молекулярной массой). Процесс идет через стадию дегидратации спирта с последующим деструктивным (жестким) окислением алкена. Например:



Предельное окисление гидроксисоединений до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  происходит при их горении, например:  $2\text{CH}_3\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ .

Полное окисление метанола идет по схеме:



При сгорании спиртов выделяется большое количество тепла:



Благодаря высокой экзотермичности реакции горения этанола он считается перспективным и экологически чистым заменителем бензинового топлива в двигателях внутреннего сгорания. В лабораторной практике этанол применяется как горючее для спиртовок.

**Альдегиды.** Систематические названия альдегидов строят по названию соответствующего углеводорода с добавлением суффикса *-аль*. Нумерацию цепи начинают с карбонильного атома углерода. Тривиальные названия производят от тривиальных названий тех кислот, в которые альдегиды превращаются при окислении:

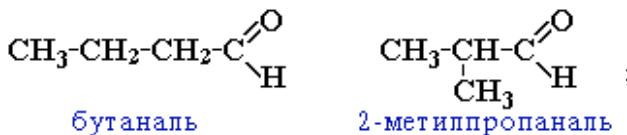
$\text{H}_2\text{C}=\text{O}$  метаналь, муравьиный альдегид (формальдегид);

$\text{CH}_3\text{CH}=\text{O}$  этаналь, уксусный альдегид (ацетальдегид).

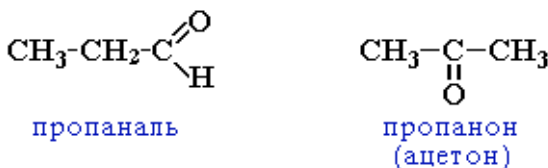
Систематические названия кетонов несложного строения производят от названий радикалов (в порядке увеличения) с добавлением слова *кетон* (радикально-функциональная номенклатура ИЮПАК).

В более общем случае название кетона строится по названию соответствующего углеводорода и суффикса *-он*; нумерацию цепи начинают от конца цепи, ближайшего к карбонильной группе (заместительная номенклатура ИЮПАК). Примеры:  $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_3$  – диметилкетон, пропанон (ацетон);  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CO}-\text{CH}_3$  – метилпропилкетон, пентанон-2.

Для альдегидов и кетонов характерна структурная изомерия.  
 Изомерия альдегидов: изомерия углеродного скелета, начиная с C<sub>4</sub>:

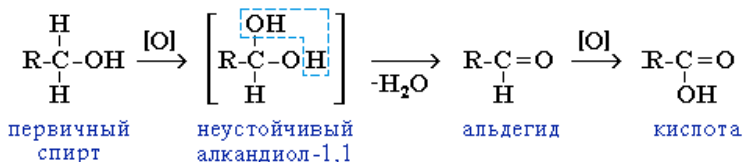


межклассовая изомерия с кетонами, начиная с C<sub>3</sub>:

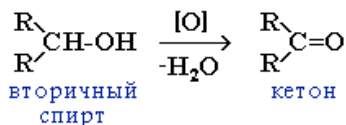


### Получение альдегидов и кетонов

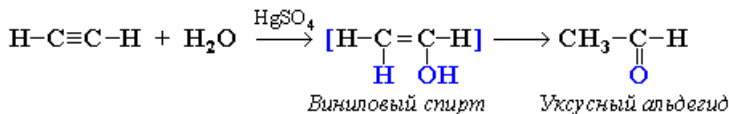
**Окисление спиртов.** Первичные спирты при окислении образуют альдегиды, которые затем легко окисляются до карбоновых кислот:



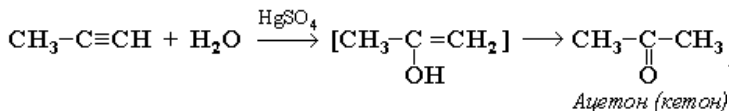
При окислении вторичных спиртов образуются кетоны:



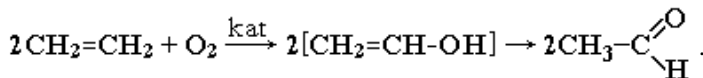
**Гидратация алкинов (реакция Кучерова).** Присоединение воды к ацетилену в присутствии солей ртути(II) приводит к образованию ацетальдегида:



Кетоны получают при гидратации других гомологов ряда алкинов:



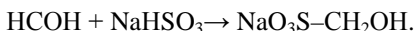
Окисление алкенов (катализаторы – хлориды Pd и Cu):



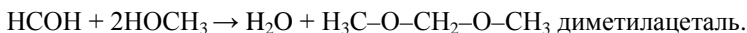
Этот способ более перспективен, чем гидратация алкинов, при которой используются токсичные ртутные катализаторы.

### Химические свойства альдегидов на примере формальдегида

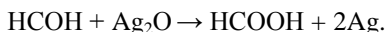
1. Восстановление:  $\text{HCOH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$  метанол.
2. Присоединение HCN:  $\text{HCOH} + \text{HCN} \rightarrow \text{NC}-\text{CH}_2\text{OH}$  оксинитрил.
3. Присоединение гидросульфита натрия:



4. Присоединение спиртов:



5. Тримеризация:  $3\text{HCOH} \rightarrow \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$  триоксиметилен.
6. Окисление – реакция «серебряного зеркала»:

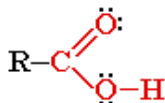


7. С гидросиламином:  $\text{HCOH} + \text{HONH}_2 \rightarrow \text{H}-\text{CH}=\text{N}-\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$  оксим.

8. С гидразином:  $\text{HCOH} + \text{NH}_2-\text{NH}_2 \rightarrow \text{H}-\text{CH}=\text{N}-\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$  гидразон.

9. С пятихлористым фосфором:  $\text{HCOH} + \text{PCl}_5 \rightarrow \text{H}-\text{CHCl}_2 + \text{POCl}_3.$

**Карбоновые кислоты** – органические соединения, содержащие одну или несколько карбоксильных групп – COOH. Карбоксильная группа содержит две функциональные группы – карбонил >C=O и гидроксил –OH, непосредственно связанные друг с другом:



Систематические названия кислот даются по названию соответствующего углеводорода с добавлением суффикса *-овая* и слова *кислота*. Часто используются также тривиальные названия.

НСООН – метановая, муравьиная;

СН<sub>3</sub>СООН – этановая, уксусная;

С<sub>2</sub>Н<sub>5</sub>СООН – пропановая, пропионовая;

С<sub>3</sub>Н<sub>7</sub>СООН – бутановая, масляная;

С<sub>4</sub>Н<sub>9</sub>СООН – пентановая, валериановая;

С<sub>5</sub>Н<sub>11</sub>СООН – гексановая, капроновая;

С<sub>15</sub>Н<sub>31</sub>СООН – пальмитиновая;

С<sub>17</sub>Н<sub>35</sub>СООН – стеариновая.

Кислотные свойства карбоновых кислот обусловлены смещением электронной плотности к карбонильному кислороду и вызванной этим дополнительной (по сравнению со спиртами) поляризацией связи О–Н.

В водном растворе карбоновые кислоты диссоциируют на ионы:



Растворимость в воде и высокие температуры кипения кислот обусловлены образованием межмолекулярных водородных связей. С увеличением молекулярной массы растворимость кислот в воде уменьшается.

### **Химические свойства карбоновых кислот**

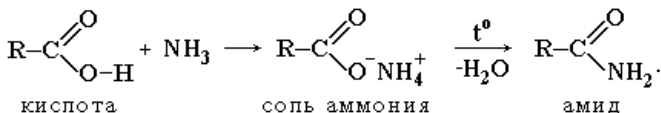
Карбоновые кислоты проявляют высокую реакционную способность. Они вступают в реакции с различными веществами и образуют разнообразные соединения, среди которых большое значение имеют функциональные производные, т. е. соединения, полученные в результате реакций по карбоксильной группе.

1. Образование солей:

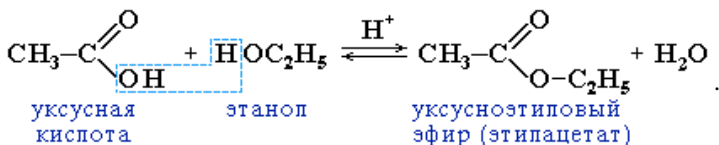
а) при взаимодействии с металлами:  $2\text{RCOOH} + \text{Mg} \rightarrow (\text{RCOO})_2\text{Mg} + \text{H}_2$ ;

б) в реакциях с гидроксидами металлов:  $\text{RCOOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{RCOONa} + \text{H}_2\text{O}$ .

2. Образование амидов:

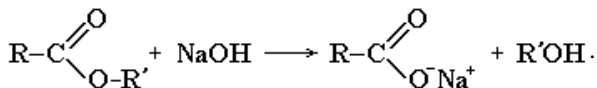


3. Образование сложных эфиров R<sup>1</sup>-COOR<sup>2</sup>:



Реакция образования сложного эфира из кислоты и спирта называется реакцией этерификации (от лат. *ether* – эфир). Катализаторами являются минеральные кислоты.

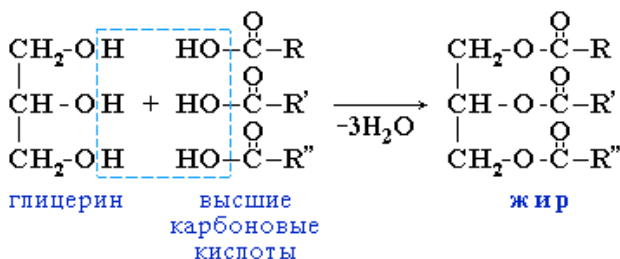
4. Обратный процесс – расщепление сложного эфира при действии воды с образованием карбоновой кислоты и спирта – называют *гидролизом сложного эфира*. Гидролиз в присутствии щелочи протекает необратимо:



Эта реакция называется омылением сложного эфира.

### Тема 3. ЛИПИДЫ

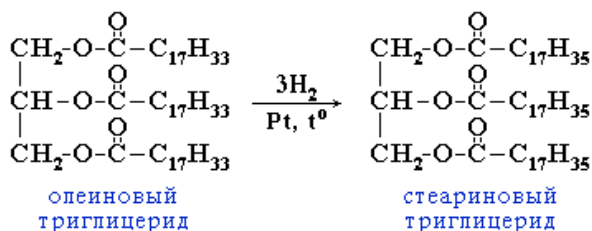
**Жиры** – сложные эфиры глицерина и высших одноосновных карбоновых кислот.



Общее название таких соединений – *триглицериды* или *триацилглицерины*, где *ацил* – остаток карбоновой кислоты –C(O)R. В состав природных триглицеридов входят остатки насыщенных кислот (пальмитиновой C<sub>15</sub>H<sub>31</sub>COOH, стеариновой C<sub>17</sub>H<sub>35</sub>COOH и др.) и ненасыщенных (олеиновой C<sub>17</sub>H<sub>33</sub>COOH, линолевой C<sub>17</sub>H<sub>31</sub>COOH, линоленовой C<sub>15</sub>H<sub>29</sub>COOH).

Жиры содержатся во всех растениях и животных. Животные жиры (бараний, свиной, говяжий и т. п.), как правило, являются твердыми веществами с невысокой температурой плавления (исключение – рыбий жир). Жиры состоят главным образом из триглицеридов предельных кислот. Растительные жиры, или растительные масла (подсолнечное, соевое, хлопковое и др.) – жидкости (исключение – кокосовое масло). В состав триглицеридов масел входят остатки непредельных кислот.

Жидкие жиры превращают в твердые путем реакции гидрогенизации (гидрирования). При этом водород присоединяется по двойной связи, содержащейся в углеводородном радикале молекул масел.

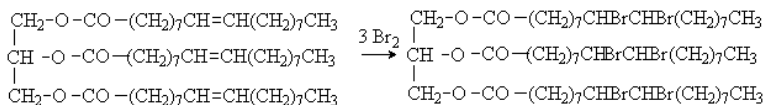


Продукт гидрогенизации масел – твердый жир (искусственное сало, саломас). Маргарин – пищевой жир, состоит из смеси гидрогенизированных масел (подсолнечного, кукурузного, хлопкового и др.), животных жиров, молока и вкусовых добавок (соли, сахара, витаминов и др.).

В связи с тем что твердых жиров не хватает для пищевых и технических целей, большое промышленное значение приобрела реакция каталитического гидрирования двойных связей в более дешевых жидких жирах. При этом жидкие ненасыщенные жиры переходят в твердые, так как становятся насыщенными. Процесс протекает в присутствии никелевого катализатора при температуре 160–200 °С и давлении водорода 2–15 атм. Получаемые продукты гидрирования называются *салолин* или *саломас*, они используются для изготовления маргарина путем их эмульгирования в молоке с добавками веществ, придающих маргарину вкус и запах сливочного масла.

По реакции переэтерификации получают смеси сложных эфиров жирных кислот, которые в отличие от самих кислот легко летучи и могут быть разделены путем перегонки или газожидкостной хроматографии. Далее путем гидролиза их превращают в индивидуальные карбоновые кислоты или используют в виде эфиров, например, в качестве лекарственных препаратов, восполняющих недостаток незаменимых жирных кислот в организме (лекарственный препарат линетол).

Триацилглицериды, содержащие остатки ненасыщенных жирных кислот, вступают в реакции присоединения по двойной связи:



Реакция присоединения галогенов используется для определения содержания остатков ненасыщенных кислот в жирах. Количественной характеристикой степени ненасыщенности жиров служит иодное число – количество иода (в граммах), которое могут поглотить 100 г жира. У животных жиров иодное число меньше 70, у растительных масел больше 70.

**Реакция окисления.** Жиры и масла, особенно содержащие ацильные остатки ненасыщенных жирных кислот, окисляются кислородом воздуха по свободнорадикальному механизму. Первыми продуктами окисления являются разнообразные по строению пероксиды и гидропероксиды. Эти нестойкие продукты превращаются во вторичные продукты окисления: спирты, альдегиды, кетоны и кислоты с углеродной цепочкой различной длины. Повышение температуры, влажности и воздействие света ускоряют процесс пероксидного окисления липидов. Накопление продуктов окисления в жирах и маслах приводит к сниже-

нию их пищевой ценности, а некоторые продукты окисления оказывают вредное воздействие на организм. Этот процесс называют **окислительным прогорканием**. Для предотвращения или замедления процесса окисления жиров к ним добавляют антиоксиданты на основе алкилзамещенных фенолов или гидрохинонов, которые, являясь восстановителями, служат ловушками для радикальных частиц активных форм кислорода.

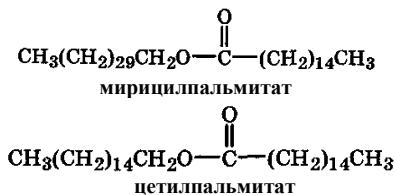
**Полимеризация масел.** Весьма важными с позиции образования защитных пленок являются реакции автоокисления, сопровождаемые полимеризацией масел. По этому признаку растительные масла делятся на три категории: высыхающие (иодное число более 150), полувысыхающие (90–150) и невысыхающие (ниже 90).

Основной характерной чертой высыхающих масел (льняное, тунговое) является высокое содержание в них ацильных остатков непредельных кислот с двумя или тремя двойными связями. Эти масла, содержащие  $\text{CH}_2$ -группу между двумя двойными связями, очень легко образуют радикалы и, подвергаясь автоокислению, полимеризуются с образованием эластичных блестящих прочных пленок, нерастворимых в органических растворителях и устойчивых к внешним воздействиям. На этом основано использование таких масел для приготовления лаков, красок и олифы. Полувысыхающими маслами являются подсолнечное и хлопковое, в которых содержание линолевой кислоты достигает 50 %, а невысыхающими – масла типа оливкового (линолевой кислоты не более 15–20 %).

**Воски.** Природные воски – это сложные смеси эфиров одноатомных первичных высших прямоцепочечных алифатических спиртов и высших прямоцепочечных насыщенных и ненасыщенных одноосновных карбоновых кислот. Причем и кислоты, и спирты обычно содержат четное число углеродных атомов ( $\text{C}_{16}$ – $\text{C}_{36}$ ). Кроме того, воски всегда еще содержат свободные кислоты и спирты, а часто и высшие углеводороды. Сложные эфиры восков омылению подвергаются труднее, чем жиры. Они также растворимы в обычных растворителях для жиров. В воде воски нерастворимы. Температуры плавления большинства восков лежат в интервале 40–90 °С, и их можно формовать при нагревании.

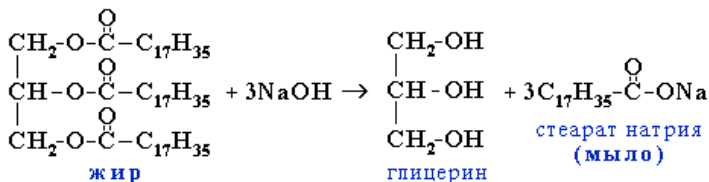
Воски подразделяются на растительные и животные. У растений 80 % от всех липидов составляют воски. Растительные воски обычно содержат помимо эфиров с большой молекулярной массой еще и значительное количество насыщенных углеводородов. Примером живот-

ных восков служит пчелиный воск, содержащий кроме высших эфиров 15 % высших карбоновых кислот C<sub>16</sub>–C<sub>36</sub> и 12–17 % высших углеводов (C<sub>21</sub>–C<sub>35</sub>). Широкое применение находит содержащийся в черепной полости кашалота спермацет, главными компонентами которого являются *мирицилпальмитат* и *цетилпальмитат*:



Овечью шерсть покрывает ланолин, представляющий сложную смесь различных восков, кислот и спиртов.

Жирам как сложным эфирам свойственна обратимая реакция гидролиза, катализируемая минеральными кислотами. При участии щелочей гидролиз жиров происходит необратимо. Продуктами в этом случае являются мыла – соли высших карбоновых кислот и щелочных металлов:



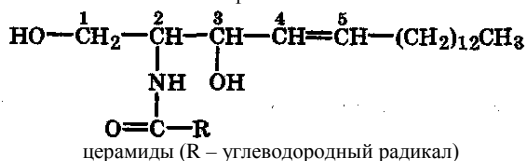
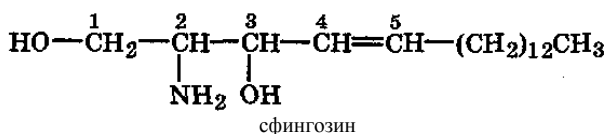
Омыляемые сложные липиды подразделяют на *фосфолипиды*, *сфинголипиды* и *гликолипиды*. Молекулы этих соединений, в отличие от молекул жиров, имеют достаточно мощный гидрофильный (полярный) фрагмент, содержащий глицерин, производные фосфорной кислоты или углеводов, и два липофильных (неполярных) фрагмента – углеводородные радикалы. Это эффективные поверхностно-активные вещества, имеющие одновременно сродство и с жирами, и с водой. Эти соединения являются структурными компонентами биологических мембран, их изображают



**Фосфолипиды.** В природных фосфолипидах, являющихся производными фосфатидовых кислот, в положении 1 глицеринового остатка обычно находится ацильный остаток R'C(O)— насыщенной жирной



двухатомный аминоспирт. Наиболее распространенными сфинголипидами являются церамиды и сфингомиелины:



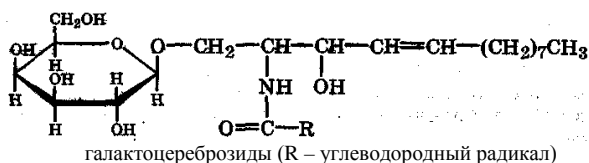
*Церамиды* – это *N*-ацильные производные сфингозина, в котором аминогруппа ацилирована высшими жирными кислотами.

*Сфингомиелины* – это производные церамидов, содержащие фосфорилхолиновую группировку, присоединенную по гидроксилу при С-1:



Сфинголипиды характеризуются большей устойчивостью к действию окислителей, чем фосфолипиды. Они нерастворимы в эфире, что используется при отделении их от фосфолипидов. Сфинголипиды также являются компонентами биомембран.

*Гликолипиды* включают углеводные остатки *глюкозы, галактозы и олигосахаридов*, присоединенные по гидроксилу при С-1 церамидов:



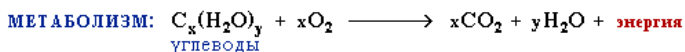
Гликолипиды впервые были выделены из серого вещества мозга. Они входят в состав миелиновой оболочки нервных волокон, регулируют рост клеток, являются маркерами трансформации нормальных

клеток в раковые, взаимодействуют с белковыми токсинами и выполняют ряд других важнейших функций.

Молекулы всех рассмотренных омыляемых сложных липидов анизотричны не только из-за вытянутой палочкообразной формы, но и потому, что они дифильны. Поэтому данные соединения могут находиться в жидкокристаллическом состоянии благодаря термотропии и лиотропии, что расширяет многообразие их биологических и физиологических функций. Именно этим объясняются и жидкокристаллические свойства, характерные для клеточных биомембран.

#### Тема 4. УГЛЕВОДЫ

**Углеводы** (сахара) – органические соединения, имеющие сходные строение и свойства, состав большинства которых отражает формула  $C_x(H_2O)_y$ , где  $x, y \geq 3$ . Общеизвестные представители: глюкоза (виноградный сахар)  $C_6H_{12}O_6$ , сахароза (тростниковый, свекловичный сахар)  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , крахмал и целлюлоза  $[C_6H_{10}O_5]_n$ . Углеводы содержатся в клетках растительных и животных организмов и по массе составляют основную часть органического вещества на Земле. Эти соединения образуются растениями в процессе фотосинтеза из углекислого газа и воды при участии хлорофилла. Животные организмы не способны синтезировать углеводы и получают их с растительной пищей. Фотосинтез можно рассматривать как процесс восстановления  $CO_2$  с использованием солнечной энергии. Эта энергия освобождается в животных организмах в результате метаболизма углеводов, который заключается, с химической точки зрения, в их окислении.



Углеводы объединяют разнообразные соединения – от низкомолекулярных, состоящих из нескольких атомов ( $x = 3$ ), до полимеров  $[C_x(H_2O)_y]_n$  с молекулярной массой в несколько миллионов ( $n > 10000$ ). Для большинства углеводов приняты тривиальные названия с суффиксом *-оза* (глюкоза, рибоза, сахароза, целлюлоза и т. п.). По числу входящих в их молекулы структурных единиц (остатков простейших углеводов) и способности к гидролизу углеводы подразделяют на моносахариды, олигосахариды и полисахариды. Моносахариды

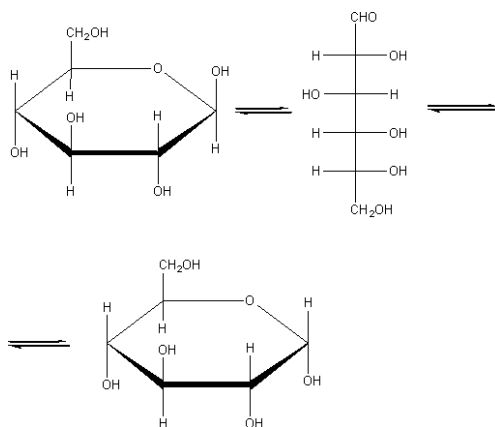
не гидролизуются с образованием более простых углеводов. Олиго- и полисахариды расщепляются при гидролизе до моносахаридов. В молекулах олигосахаридов содержится от 2 до 10 моносахаридных остатков, в полисахаридах – от 10 до 3000–5000.

Моносахариды: глюкоза  $C_6H_{12}O_6$ , фруктоза  $C_6H_{12}O_6$ , рибоза  $C_5H_{10}O_5$ .

Олигосахариды (дисахариды): сахароза  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , лактоза – молочный сахар  $C_{12}H_{22}O_{11}$ .

Полисахариды: целлюлоза  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , крахмал  $(C_6H_{10}O_5)_n$ .

**Глюкоза  $C_6H_{12}O_6$  (альдегидоспирт).** Глюкоза может существовать в линейной и циклической формах:



### Химические свойства моносахаридов

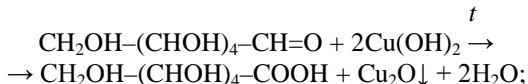
Химические свойства моносахаридов обусловлены наличием в молекуле функциональных групп трех видов (карбонила, спиртовых гидроксидов и полуацетального гидроксидов). Например, глюкоза как многоатомный спирт образует простые и сложные эфиры, комплексное соединение с гидроксидом меди(II); как альдегид она окисляется аммиачным раствором оксида серебра, а также бромной водой в глюконовую кислоту  $COOH-(CHOH)_4-COOH$  и восстанавливается водородом в шестиатомный спирт – сорбит  $CH_2OH-(CHOH)_4-CH_2OH$ ; в полуацетальной форме глюкоза способна к нуклеофильному замещению полуацетального гидроксидов на группу  $-OR$  (образование гликозидов, олиго- и полисахаридов). Аналогично ведут себя в таких реакциях и другие моносахариды.

1. Реакции альдегидной группы:

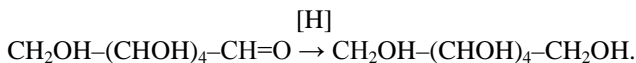
а) реакция «серебряного зеркала»:



б) реакция с гидроксидом меди(II):

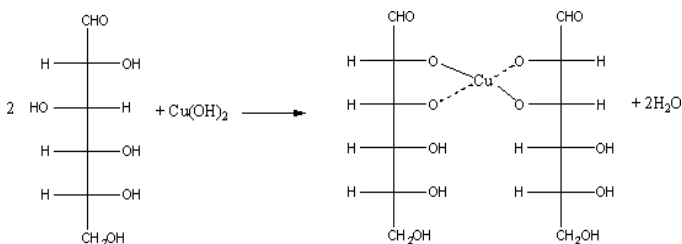


в) восстановление:

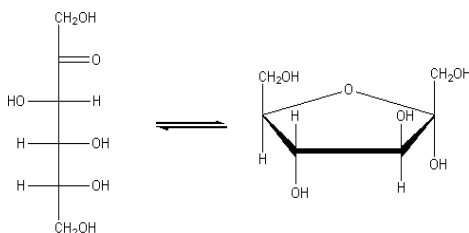


2. Реакции гидроксильной группы:

а) взаимодействие с гидроксидом меди(II):

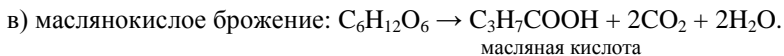
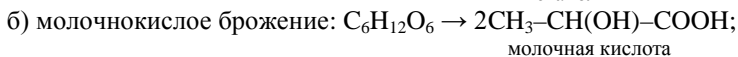
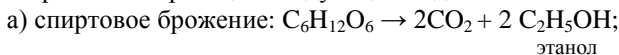


**Фруктоза  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  (кетонспирт).**



Важнейшим свойством моносахаридов является их ферментативное брожение, т. е. распад молекул на осколки под действием различных ферментов. Брожению подвергаются в основном гексозы в присутствии ферментов, выделяемых дрожжевыми грибами, бактериями или

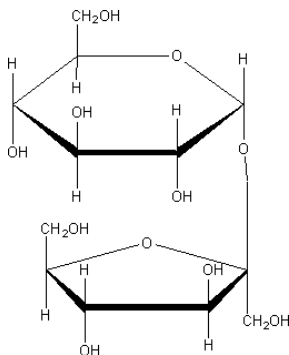
плесневыми грибами. В зависимости от природы действующего фермента различают реакции следующих видов:



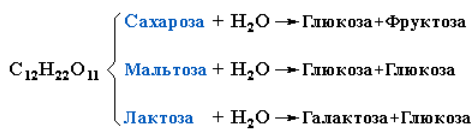
В живом организме глюкоза окисляется с выделением большого количества энергии:  $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 2920$  кДж.

*Дисахариды* – это углеводы, молекулы которых состоят из двух остатков моносахаридов, соединенных друг с другом за счет взаимодействия гидроксильных групп (двух полуацетальных или одной полуацетальной и одной спиртовой). Связи, соединяющие моносахаридные остатки, называются гликозидными.

**Сахароза  $C_{12}H_{22}O_{11}$  – дисахарид.** Сахароза образована остатками  $\alpha$ -глюкозы и  $\beta$ -фруктозы:

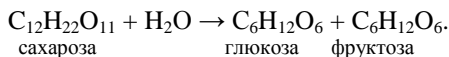


Для дисахаридов характерна реакция гидролиза (в кислой среде или под действием ферментов), в результате которой образуются моносахариды. При гидролизе различные дисахариды расщепляются на составляющие их моносахариды за счет разрыва связей между ними (гликозидных связей):



## Химические свойства дисахаридов

### 1. Гидролиз:



Таким образом, реакция гидролиза дисахаридов является обратной процессу их образования из моносахаридов.

2. Взаимодействие с гидроксидом кальция с образованием сахара кальция.

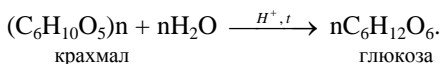
3. Сахароза не реагирует с аммиачным раствором оксида серебра, поэтому ее называют невосстанавливающим дисахаридом.

**Крахмал** – основная часть важнейших продуктов питания: муки (75–80 %), картофеля (25 %), саго и др. Энергетическая ценность составляет около 16,8 кДж/г. Он является ценным питательным продуктом. Чтобы облегчить его усвоение, содержащие крахмал продукты подвергают действию высокой температуры, т. е. картофель варят, хлеб пекут. В этих условиях происходит частичный гидролиз крахмала и образуются декстрины, растворимые в воде. Декстрины в пищеварительном тракте подвергаются дальнейшему гидролизу до глюкозы, которая усваивается организмом. Избыток глюкозы превращается в гликоген (животный крахмал). Состав гликогена такой же, как у крахмала, –  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ , но его молекулы более разветвленные. Особенно много гликогена содержится в печени (до 10 %). В организме гликоген является резервным веществом, которое превращается в глюкозу по мере ее расходования в клетках.

Крахмал  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$  – природный полимер, молекулы которого состоят из линейных и разветвленных цепей, содержащих остатки  $\alpha$ -глюкозы.

## Химические свойства крахмала

### 1. Гидролиз:



2. Крахмал дает интенсивно синее окрашивание с иодом за счет образования внутрикомплексного соединения.

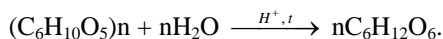
3. Крахмал не вступает в реакцию «серебряного зеркала».

Крахмал применяют для крахмаливания белья. Под горячим утюгом происходит частичный гидролиз крахмала и превращение его в декстрины. Последние образуют на ткани плотную пленку, которая придает блеск ткани и предохраняет ее от загрязнения. Крахмал и его производные также применяются при производстве бумаги, текстильных изделий, а также в фармацевтической промышленности.

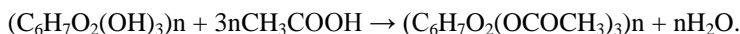
**Целлюлоза** ( $C_6H_{10}O_5$ ) $_n$  – природный полимер, молекулы которого состоят из линейных цепей, содержащих остатки  $\beta$ -глюкозы.

### Химические свойства целлюлозы

1. Гидролиз:

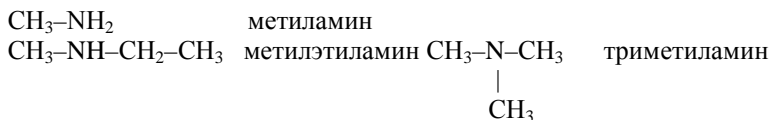


2. Образование сложных эфиров с азотной и уксусной кислотами:



## Тема 5. АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ: АМИНЫ И АМИНОКИСЛОТЫ

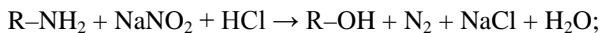
**Аминами** называют органические соединения, которые можно рассматривать как продукты замещения атомов водорода в аммиаке на органические радикалы. В зависимости от числа замещенных атомов различают первичные, вторичные и третичные амины. Названия аминов строят из названий органических радикалов с добавлением в окончание слова «амин»:



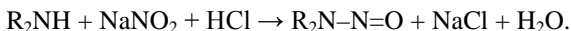
Группа  $NH_2$  называется аминогруппой.

### Химические свойства аминов

1. Гидролиз:  $R-NH_2 + H_2O \rightarrow [R-NH_3]^+OH^-$ .
2. Взаимодействие с кислотами:  $CH_3-NH_2 + HCl \rightarrow CH_3NH_3Cl$ .
3. Горение:  $2C_2H_5NH_2 + 15O_2 \rightarrow 8CO_2 + 2N_2 + 14H_2O$ .
4. Реакции с азотистой кислотой:
  - а) первичные амины превращаются в спирты:



б) вторичные амины превращаются в нитрозосоединения:



### Получение аминов.

1. Нагревание алкилгалогенидов с аммиаком:



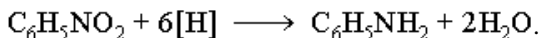
2. Первичные амины получают восстановлением нитросоединений:



Первичные амины часто называют как производные углеводородов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода замещены на аминогруппы  $-NH_2$ . В этом случае аминогруппа указывается в названии суффиксами *-амин* (одна группа  $-NH_2$ ), *-диамин* (две группы  $-NH_2$ ) и т. д. с добавлением цифр, отражающих положение этих групп в главной углеродной цепи. Например:  $CH_3-CH_2-CH_2-NH_2$  пропанамин-1;  $H_2N-CH_2-CH_2-CH(NH_2)-CH_3$  бутандиамин-1,3.

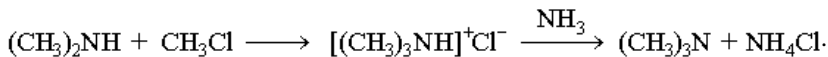
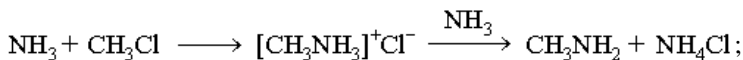
Наиболее общим методом получения первичных аминов является восстановление нитросоединений.

Важнейший ароматический амин – анилин – образуется при восстановлении нитробензола (восстановители – водород в присутствии металлических катализаторов, Fe + HCl, сульфиды):



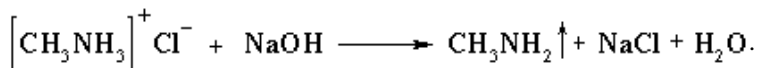
Эта реакция носит имя русского химика Н. Н. Зинина, осуществившего ее впервые в 1842 г.

При нагревании галогеналканов с аммиаком образуется смесь первичных, вторичных и третичных аминов:



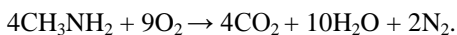
Для аминов характерны ярко выраженные основные свойства (за что их часто называют органическими основаниями). Взаимодействуя

с кислотами, амины образуют соли. Соли аминов – твердые вещества, хорошо растворимые в воде. Щелочи (более сильные основания) легко вытесняют из них амины:

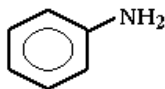


Основность ароматических аминов зависит также от характера заместителей в бензольном кольце. Электроноакцепторные заместители (–F, –Cl, –NO<sub>2</sub> и т. п.) уменьшают основные свойства ариламина по сравнению с анилином, а электронодонорные (алкил, –OCH<sub>3</sub>, –N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и др.), напротив, увеличивают. Основность простейших аминов (в растворе) возрастает в ряду C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>NH<sub>2</sub> < NH<sub>3</sub> < (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>N < CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub> < (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>NH.

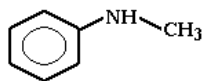
Алифатические амины окисляются под действием сильных окислителей. В отличие от аммиака, низшие газообразные амины способны воспламеняться от открытого пламени. Реакция горения (полного окисления) аминов на примере метиламина:



### Ароматические амины

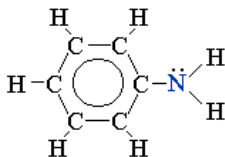


**Фениламин**  
(анилин)



**Метилфениламин**

**Анилин (фениламин)** C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>NH<sub>2</sub> – важнейший из ароматических аминов:



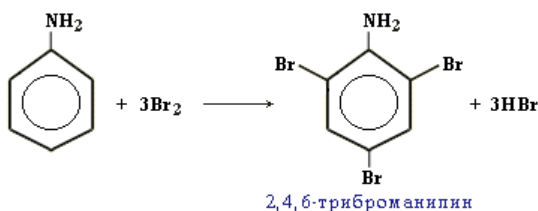
*структурная формула*

Он находит широкое применение в качестве полупродукта в производстве красителей, взрывчатых веществ и лекарственных средств (сульфаниламидные препараты). Анилин представляет собой бесцвет-

ную маслянистую жидкость с характерным запахом. На воздухе быстро окисляется и приобретает красно-бурую окраску. Ядовит.

Для анилина характерны реакции как по аминогруппе, так и по бензольному кольцу. Особенности этих реакций обусловлены взаимным влиянием атомов. С одной стороны, бензольное кольцо ослабляет основные свойства аминогруппы по сравнению алифатическими аминами и даже с аммиаком. С другой стороны, под влиянием аминогруппы бензольное кольцо становится более активным в реакциях замещения, чем бензол.

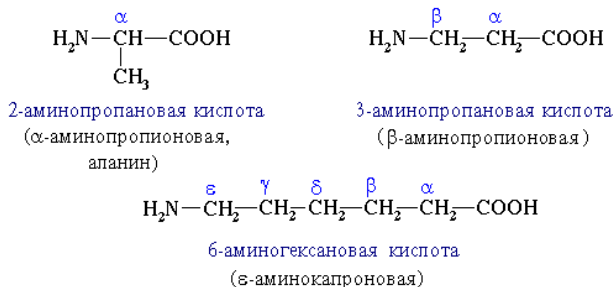
Например, анилин энергично реагирует с бромной водой с образованием 2,4,6-триброманилина (белый осадок). Эта реакция может использоваться для качественного и количественного определения анилина:



**Аминокислоты** – органические бифункциональные соединения, в состав которых входят карбоксильные группы  $-\text{COOH}$  и аминогруппы  $-\text{NH}_2$ . Это замещенные карбоновые кислоты, в молекулах которых один или несколько атомов водорода углеводородного радикала заменены аминогруппами. Простейший представитель – аминокислотная кислота  $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$  (глицин).

Аминокислоты классифицируют по двум структурным признакам.

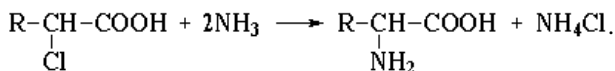
В зависимости от взаимного расположения amino- и карбоксильной групп аминокислоты подразделяют на  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -,  $\epsilon$ - и т. д.:



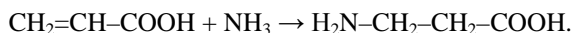
Для  $\alpha$ -аминокислот  $R-CH(NH_2)COOH$ , которые играют исключительно важную роль в процессах жизнедеятельности животных и растений, применяются тривиальные названия. Если в молекуле аминокислоты содержится две аминогруппы, то в ее названии используется приставка *диамино-*, три группы  $NH_2$  – *триамино-* и т. д.

### Получение аминокислот

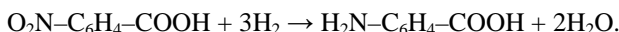
1. Замещение галогена на аминогруппу в соответствующих галогензамещенных кислотах:



2. Присоединение аммиака к  $\alpha$ ,  $\beta$ -непредельным кислотам с образованием  $\beta$ -аминокислот:

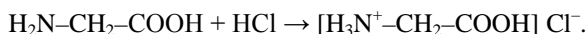


3. Восстановление нитрозамещенных карбоновых кислот (применяется обычно для получения ароматических аминокислот):

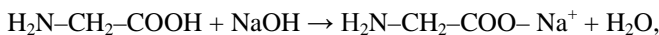


### Химические свойства аминокислот

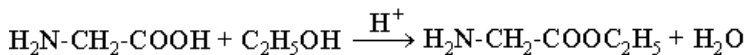
Аминокислоты проявляют свойства оснований за счет аминогруппы и свойства кислот за счет карбоксильной группы, т. е. являются амфотерными соединениями. Подобно аминам они реагируют с кислотами с образованием солей аммония:



Как карбоновые кислоты они образуют соли:

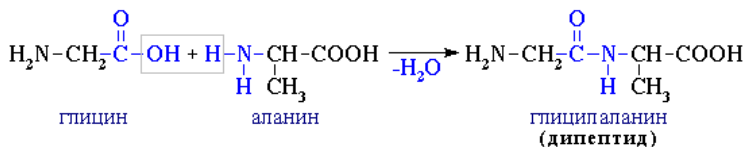


а также сложные эфиры:



Кроме того, возможно взаимодействие амино- и карбоксильной групп как внутри одной молекулы (внутримолекулярная реакция), так и принадлежащих разным молекулам (межмолекулярная реакция).

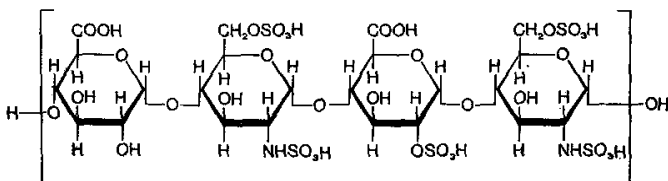
Межмолекулярное взаимодействие  $\alpha$ -аминокислот приводит к образованию пептидов. При взаимодействии двух  $\alpha$ -аминокислот образуется дипептид:



Источником  $\alpha$ -аминокислот для живых систем служат пищевые белки. Многие  $\alpha$ -аминокислоты синтезируются в организме животных, но некоторые не синтезируются и должны поступать с пищей. Это *незаменимые аминокислоты*: валин, гистидин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан, фенилаланин. Остальные аминокислоты могут синтезироваться в организме животных, их называют *заменимыми*: аланин, аргинин, аспарагин, аспарагиновая кислота, глицин, глутамин, глутаминовая кислота, пролин, серин, цистеин, тирозин.

**Мукополисахариды** относятся к высокомолекулярным гетерополисахаридам, образующим комплексные соединения с белками. Они являются основными компонентами слизи (слюны, кишечного сока, слизи суставов). Основными представителями этой группы углеводов являются гепарин, гиалуроновая и хондроитинсерная кислоты.

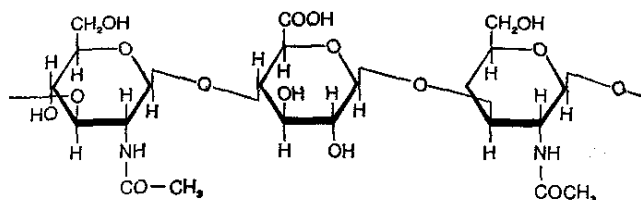
*Гепарин* является представителем гетерополисахаридов. Это полимер с молекулярной массой 20 000, состоящий из остатков глюкуроновой кислоты,  $\alpha$ -D-глюкозамина и серной кислоты:



Гепарин препятствует свертыванию крови и поэтому широко используется в качестве антикоагулянта при переливании крови, а также для профилактики и лечения тромбозов.

*Гиалуроновая кислота* – гетерополисахарид, молекула которого образована остатками N-ацетил- $\beta$ -D-глюкозамина и  $\beta$ -D-глюкуроновой и

уксусной кислот. Глюкозамин соединен с кислотой (3-(1,4)-связью). Структура гиалуроновой кислоты имеет вид

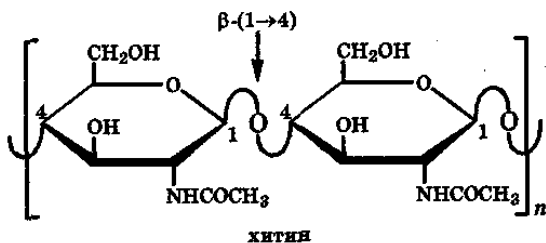
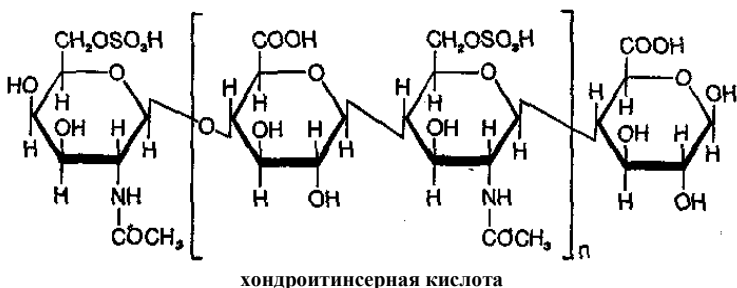


Молекулярная масса гиалуроновой кислоты – от 270 до 500 тыс. Благодаря ионизации карбоксильных групп гиалуроновая кислота взаимодействует с молекулами воды, различными ионами, образует высокомолекулярные комплексы с белками, растворы ее обладают большой вязкостью.

Гиалуроновая кислота обнаружена в синовиальной жидкости, сухожилиях, в стекловидном теле глаза, пупочном канатике, злокачественных опухолях. В организме человека и животных гиалуроновая кислота играет большую роль в процессах проницаемости клеточных мембран, оплодотворения и в формировании защитных свойств организма от инфекции.

*Хондроитинсерная кислота* – высокомолекулярный гетерополисахарид (молекулярная масса 40 000–50 000). При его гидролизе образуется *N*-ацетилгалактозамин, глюкуроновая, уксусная и серная кислоты. В процессе синтеза хондроитинсерной кислоты *N*-ацетилгалактозамин может соединяться с глюкуроновой кислотой  $\beta$ -1,3 или  $\beta$ -1,4-гликозидными связями.

В зависимости от структуры и составных компонентов хондроитинсульфаты могут находиться в трех формах – *A*, *B* и *C*. Структурное отличие хондроитинсульфатов *A* и *C* определяется положением сульфатных остатков. В хондроитинсульфате *A*-сульфатная группа соединена сложноэфирной связью с *C*-4 *N*-ацетилгалактозамина, а в хондроитинсульфате *C* она соединена с *C*-6. В молекуле хондроитинсульфата  $\beta$ -глюкуроновая кислота замещена ее изомером – идуроновой кислотой.

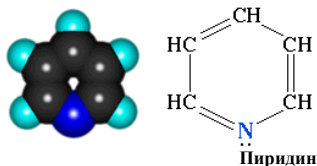
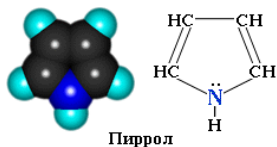


## Тема 6. ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ. НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ

**Гетероциклические соединения** – это органические вещества, содержащие в своих молекулах циклы, в образовании которых кроме атомов углерода участвуют атомы других элементов (гетероатомы).

Наиболее распространены гетероциклы, в состав которых входят атомы азота, кислорода или серы.

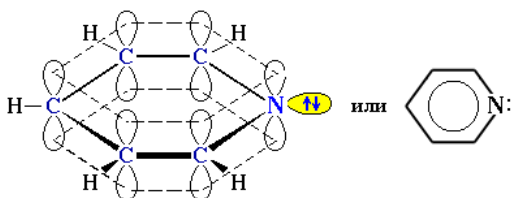
Примером кислородсодержащих гетероциклических соединений служат циклические формы моносахаридов (глюкозы, рибозы и т. п.). Некоторые азотсодержащие гетероциклы играют важную роль в природе.



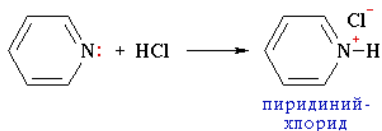
Атом азота в гетероциклах связан с углеродными атомами, поэтому такие соединения можно рассматривать как циклические амины.

*Пиридин*  $C_5H_5N$  – шестичленный гетероцикл с одним атомом азота. Это бесцветная жидкость с неприятным запахом, температура кипения составляет  $115\text{ }^\circ\text{C}$ . Хорошо растворяется в воде и органических жидкостях. Ядовит.

Электронное строение молекулы пиридина сходно со строением бензола. Атомы углерода и азота находятся в состоянии  $sp^2$ -гибридизации. Все  $\sigma$ -связи C–C, C–H и C–N образованы гибридными орбиталями, углы между ними составляют примерно  $120^\circ$ . Поэтому цикл имеет плоское строение. Шесть электронов, находящихся на негибридных  $p$ -орбиталях, образуют  $\pi$ -электронную ароматическую систему.



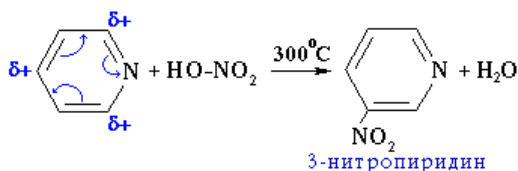
Из трех гибридных орбиталей атома азота две образуют  $\sigma$ -связи C–N, а третья содержит неподеленную пару электронов, которые не участвуют в  $\pi$ -электронной системе. Поэтому пиридин, подобно аминам, проявляет свойства основания. Его водный раствор окрашивает лакмус в синий цвет. При взаимодействии пиридина с сильными кислотами образуются соли пиридиния.



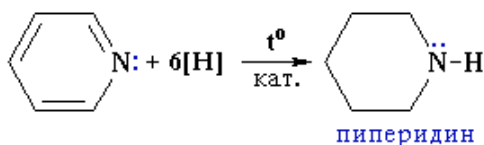
Наряду с основными свойствами пиридин проявляет свойства ароматического соединения. Однако его активность в реакциях электрофильного замещения ниже, чем у бензола. Это объясняется тем, что азот как более электроотрицательный элемент оттягивает электроны на себя и понижает плотность электронного облака в кольце, в особенности в положениях 2 и 4 (орто- и пара-положения).

Поэтому, например, реакция нитрования пиридина проходит в жестких условиях (при температуре  $300\text{ }^\circ\text{C}$ ) и с низким выходом. Ориентирующее влияние атома азота на вступление нового заместителя

при электрофильном замещении в пиридине подобно влиянию нитро-группы в нитробензоле: реакция идет в положение 3.

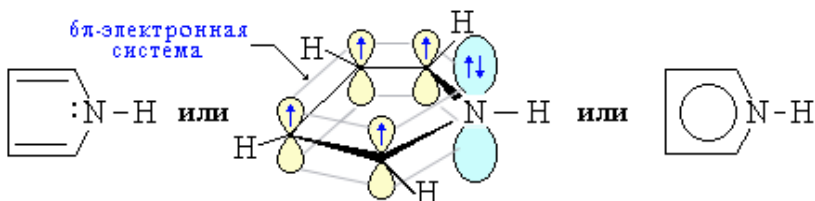


Как и бензол, пиридин может присоединять водород в присутствии катализатора с образованием насыщенного соединения пиперидина.



Пиперидин проявляет свойства вторичного амина (сильное основание).

*Пиррол*  $C_4H_4NH$  – пятичленный гетероцикл с одним атомом азота. Бесцветная жидкость с температурой кипения  $130\text{ }^\circ\text{C}$ , плохо растворимая в воде, на воздухе быстро окисляется и темнеет. Электронное строение молекулы пиррола объясняет его свойства как слабой кислоты и ароматического соединения.

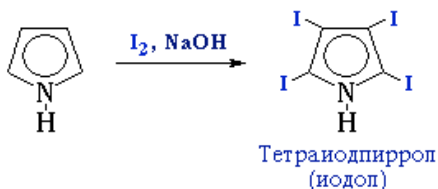


Атомы углерода и азота находятся в состоянии  $sp^2$ -гибридизации,  $\sigma$ -связи C–C, C–H и C–N образуются гибридными орбиталями. Цикл имеет плоское строение. На негибридной  $p$ -орбитали азота находится неподеленная пара электронов, которые вступают в сопряжение с четырьмя  $p$ -электронами атомов углерода.

Таким образом, в циклической системе сопряжения находится шесть электронов, что определяет ароматические свойства пиррола. Пиррол значительно активнее бензола в реакциях электрофильного

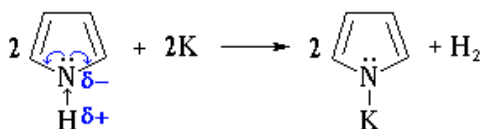
замещения, так как атом азота, предоставляя в систему сопряжения два электрона (+M-эффект), повышает электронную плотность в цикле.

Пример: замещение четырех атомов водорода при иодировании:

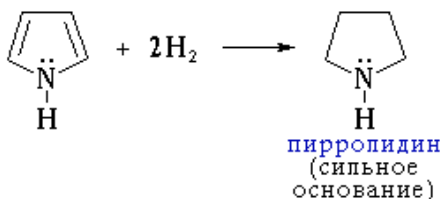


Устойчивость пиррола как ароматической структуры значительно меньше, чем бензола. Под действием сильных минеральных кислот электронная пара азота все же используется для солеобразования и свойства пиррола резко меняются: ароматичность исчезает (в системе сопряжения остается всего четыре электрона) и проявляются свойства диена, например, способность к полимеризации.

Связывание неподеленной электронной пары атома азота системой сопряжения приводит к резкому ослаблению основных и проявлению кислотных свойств. Как слабая кислота пиррол вступает в реакцию с металлическим калием, образуя соль – пиррол-калий:



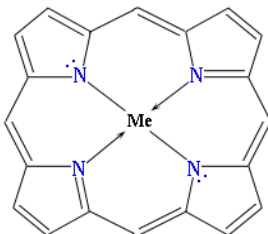
Пиррол может участвовать в реакциях присоединения: гидрирование приводит к образованию пирролидина:



Под действием сильных минеральных кислот пиррол вступает в реакции полимеризации.

Пиррол применяют для синтеза различных органических веществ. Пиррольные структуры содержатся в гемоглобине, хлорофилле, вита-

мине В<sub>12</sub> и некоторых других природных соединениях. В состав молекул этих сложных веществ входит тетрапиррольный фрагмент (порфин) в виде комплекса с металлом:



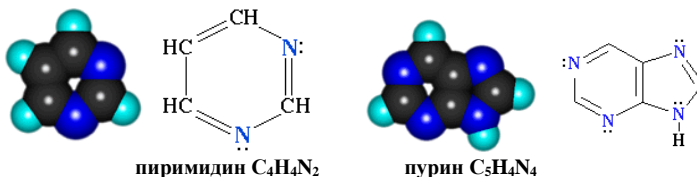
где Me – металл (Fe в гемоглобине, Mg в хлорофилле, Co в витамине В<sub>12</sub>).

*Пиримидин*  $C_4H_4N_2$  – шестичленный гетероцикл с двумя атомами азота. Проявляет свойства очень слабого основания, так как атомы азота в  $sp^2$ -гибридизованном состоянии довольно прочно удерживают неподеленную электронную пару.

Для пиримидина, подобно пиридину, характерна  $\pi$ -электронная ароматическая система. Поэтому его цикл обладает повышенной устойчивостью.

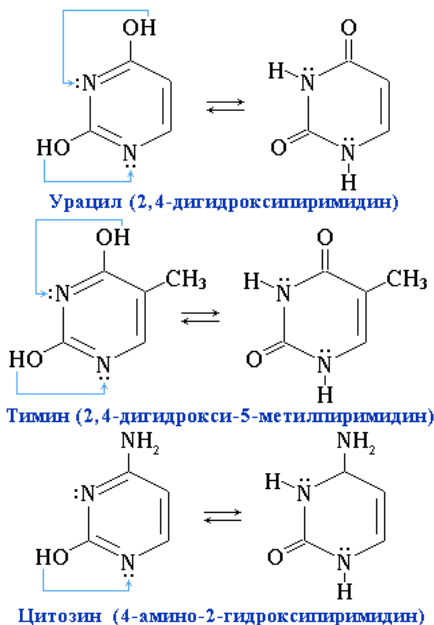
*Пурин*  $C_5H_4N_4$  – соединение, в молекуле которого сочетаются структуры шести- и пятичленного гетероциклов, содержащих по два атома азота.

Проявляет амфотерные свойства. Слабые основные свойства связаны с атомами азота шестичленного (пиримидинового) цикла. Слабые кислотные свойства обусловлены группой N–H пятичленного цикла по аналогии с пиролом.



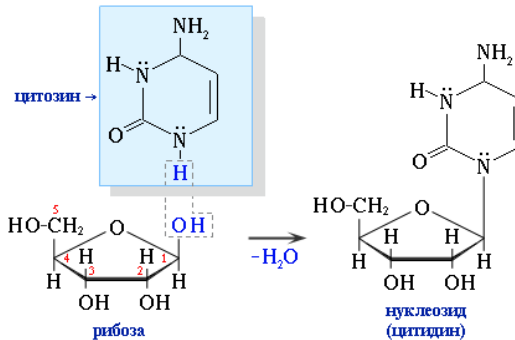
Эти соединения являются основой пиримидиновых и пуриновых оснований, входящих в состав природных высокомолекулярных веществ – нуклеиновых кислот.

Пиримидиновые основания – производные пиримидина, входящие в состав нуклеиновых кислот: урацил, тимин, цитозин. Для оснований, содержащих группу –OH, характерно подвижное равновесие структурных изомеров, обусловленное переносом протона от кислорода к азоту и наоборот:



Подобное динамическое равновесие структурных изомеров называют «таутомерией». Данный частный случай относят к лактим-лактамной таутомерии.

Пиримидиновые основания входят в состав нуклеозидов – структурных компонентов нуклеиновых кислот. Нуклеозиды образуются за счет отщепления водорода от N–H-связи в молекуле азотистого основания и гидроксила при C<sub>1</sub> в молекуле углевода рибозы (или 2-дезоксирибозы). Здесь проявляются кислотные свойства амина (группа N–H в азотистом гетероцикле) и способность к нуклеофильному замещению полуацетального гидроксила (при C<sub>1</sub>) в молекуле углевода.



Пуриновые основания – производные пурина, входящие в состав нуклеиновых кислот: аденин, гуанин.



Гуанин существует в виде двух структурных изомеров:



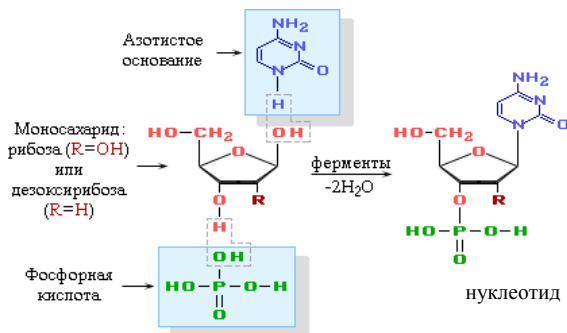
Образование нуклеозидов происходит, как и в случае пиримидиновых оснований, по связи N–H.

Нуклеиновые кислоты – это биополимеры, макромолекулы которых состоят из многократно повторяющихся звеньев – нуклеотидов. Поэтому их называют также полинуклеотидами.

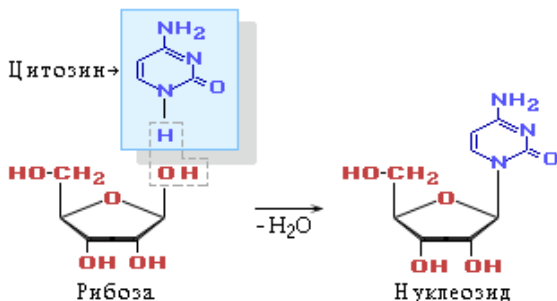
В состав нуклеотида – структурного звена нуклеиновых кислот – входят три составные части:

азотистое основание – пиримидиновое или пуриновое; моносахарид – рибоза или 2-дезоксирибоза; остаток фосфорной кислоты.

Нуклеотид – фосфорный эфир нуклеозида.

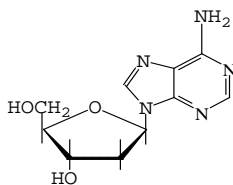


В состав нуклеозида входят два компонента: моносахарид (рибоза или дезоксирибоза) и азотистое основание.



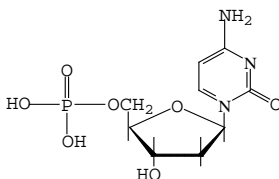
Выдающийся немецкий химик Эмиль Фишер синтезировал 2,6,8-триоксипурин (*мочевую кислоту*) исходя из барбитуровой кислоты. Из мочевой кислоты Фишер получил аденин, гуанин и ксантин. Аденин и гуанин являются обычными компонентами нуклеиновых кислот.

**Нуклеозидом** называется *N*-гликозид, агликон которого представляет собой, как правило, производное пиримидина или пурина. В зависимости от того, какой сахар – рибоза или дезоксирибоза – входит в их состав, нуклеозиды подразделяются на *рибозиды* и *дезоксирибозиды*.



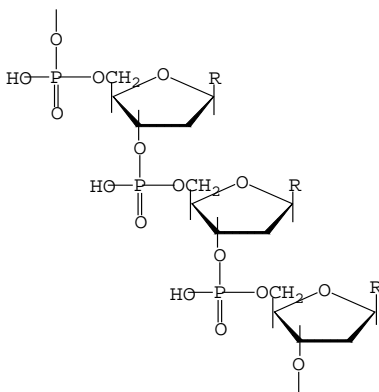
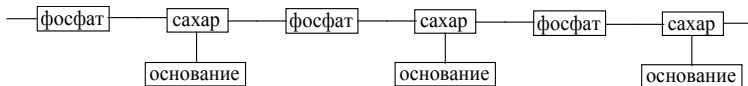
адениндезоксирибозид

**Нуклеотид** – соединение, построенное из молекулы сахара, азотистого основания и фосфорной кислоты.



цитозиндезоксирибонуклеотид

### Общая схема строения ДНК



Число нуклеотидных единиц в ДНК может составлять от 3000 до 10000000. Последовательность азотистых оснований не установлена.

# БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

## Тема 1. Витамины

Витамины – это биологически активные вещества различной химической природы, необходимые организму в небольших количествах и выполняющие самостоятельно или в составе ферментов каталитическую функцию.

Витамины отличаются от других органических пищевых веществ двумя характерными признаками:

- а) они не включаются в структуру тканей;
- б) не используются организмом как энергетический материал.

В настоящий момент используют три вида номенклатуры. Первая (с приставкой *анти-*) исторически сложилась по названию заболевания, развивающегося при недостатке или отсутствии витамина в пище. Например, антиксерофтальмический, антирахитический, антигеморрагический. Эта же номенклатура включает в себя и физиологические названия, такие как витамин роста, витамин размножения (плодовитости) и т. д. Кроме того, используют обозначения витаминов латинскими буквами: А, D, Е, К и т. д. Сходные по химическому строению вещества, обладающие характерным физиологическим действием конкретного витамина, принято называть витаминами и обозначать индексом. Так, витамин А имеет три витамина (А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, А<sub>3</sub>), витамин D – пять, Е представлен большой группой витаминеров, из которых наиболее распространены α-, β-, γ-токоферолы. Согласно третьей номенклатуре, витамину присваивают химическое название. Чтобы ориентироваться в названиях витаминов, необходимо составить таблицу по приведенному ниже образцу (табл. 1).

Таблица 1. Номенклатура витаминов

№ п. п.	Буквенное обозначение	Химическое название	Физиологическое название
1	А	Ретинол	Антиксерофтальмический
2	D	Кальциферолы	Антирахитный
3	Е	Токоферолы	Антистерильный
4	К	Филохиноны	Антигеморрагический
5	В <sub>1</sub>	Тиамин	Антиневритический
6	В <sub>2</sub>	Цианкобаламин	Антианемический
И т. д.			

По физико-химическим свойствам классифицировать витамины затруднительно, в частности, по растворимости выделяют две большие группы витаминов: жирорастворимые и водорастворимые. Отдельно выделяют условную группу витаминоподобных веществ, которые отличаются от витаминов тем, что потребность организма в них выше. Например, суточная потребность взрослого человека в витамине В<sub>5</sub> составляет 15–25 мг, в витамине F (условно витаминоподобного вещества) – 5–10 г.

Согласно программе курса, из группы жирорастворимых витаминов необходимо изучить витамины: А, Д, Е, К, F, убихинон; из группы водорастворимых: В<sub>1</sub>, В<sub>3</sub>, В<sub>5</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>, В<sub>С</sub>, Н, Р, С и витаминоподобные вещества: парааминобензойную кислоту, липолевою кислоту, холин, инозит.

Организм животных и человека практически не синтезирует витамины или синтезирует в недостаточном количестве. Растения и микроорганизмы способны к первичному синтезу витаминов, поэтому основным источником витаминов для животных и человека служат растительная пища, продукты жизнедеятельности микрофлоры, в частности, микрофлоры ЖКТ и, в меньшей степени, пища животного происхождения.

С пищей витамины могут поступать как самостоятельные вещества, так и в форме провитаминов, которые в тканях организма превращаются в активные формы витаминов. В свою очередь, провитамины могут быть представлены биохимическим комплексом витамина с другими соединениями, например, белками и липидами или в виде самостоятельных веществ. Например, каротины являются провитаминами витамина А. Поступая в организм, они превращаются в витамин А путем окисления или расщепления. В первом случае из одной молекулы β-каротина образуется одна молекула витамина А, во втором – две молекулы. Нарушение баланса витаминов в организме проявляется в форме недостатка витамина. Это состояние названо гиповитаминозом. Крайне выраженный дефицит называют авитаминозом, избыток витамина – гипervитаминозом. Как правило, наиболее распространен гиповитаминоз сразу нескольких витаминов – полигиповитаминоз. Гипervитаминоз встречается редко, в основном при передозировке вводимого витамина, и характерен для жирорастворимых витаминов. Недостаток или избыток витамина одинаково отрицательно отражается на метаболизме и определяется по специфичным признакам для конкретного витамина.

Основные причины заболеваний, связанных с витаминами, приведены ниже.

1. Недостаточное или полное отсутствие витамина в пище.

2. Неспособность выделить витамин из пищи и усвоить его. Здесь может быть ряд своих причин:

- заболевание ЖКТ и нарушение всасывания;

- прочный биохимический комплекс, который можно разрушить дополнительной обработкой пищи для животных (термическая обработка кормов);

- несбалансированный рацион: жирорастворимые витамины требуют присутствия жиров, водорастворимых белков-переносчиков;

- введение медпрепаратов, подавляющих микрофлору ЖКТ и, в частности, желудков у жвачных.

3. Физиологически повышенная потребность организма в витаминах во время роста, беременности, болезни.

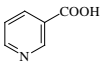
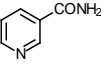
4. Присутствие в кормах антивитаминов. Это вещества, сходные с витаминами по химическому строению, но не обладающие их свойствами, т. е. они включаются в обмен веществ вместо витаминов и нарушают его. Например, вместо парааминобензойной кислоты у микроорганизмов в метаболизм включаются сульфаниламиды и задерживают рост микроба.

Помимо структурных аналогов, выделяют и различают антивитамины биологического происхождения: ферменты и белки, расщепляющие или связывающие молекулы витаминов. Например, тиаминаза расщепляет витамин В<sub>1</sub>. Ее много в стенке кишечника сырой рыбы, поэтому нежелательно использовать фарш из сырой рыбы в звероводстве, белок сырого яйца – авидин – связывает биотин и переводит его в неактивную форму.

Изучая характерные особенности витаминов одной группы, следует обратить внимание на номенклатуру витаминов и заболевания, связанные с отсутствием, недостатком или избытком витаминов в организме. Разобраться в причинах, вызывающих эти заболевания.

Изучая отдельные витамины, необходимо обратить внимание на наличие витамеров, провитаминов, антивитаминов данного витамина, химическое строение и участие в биологических процессах, а также специфические признаки заболеваний, связанных с витаминами, и источники витамина для животных. При изучении биологической роли витаминов и витаминopodobных веществ необходимо видеть взаимосвязь витаминов и ферментов как активной части последних.

Обобщая изученный материал по теме «Витамины», рекомендуем составить краткий конспект для каждого витамина по следующей форме:

Все возможные названия витамина	Химические формы		Участие в обмене веществ	Специфические признаки недостаточности витамина в организме	Источники
В <sub>3</sub> (РР), ниацин, антипеллагрический, никотиновая кислота, никотинамид	Неактивная: поступает с кормом:  никотиновая кислота  никотинамид	Активная: кофермент над <sup>+</sup> (никотинадениндинуклеотид), кофермент дегидрогеназ	Переносит водород в биологических ОВР. Участвует в матричном синтезе нуклеиновых кислот. Влияет на процесс деления клеток. Является аллостерическим регулятором ряда ферментов энергетического обмена	Симметричные дерматиты на открытых участках кожи (пеллагра). Диарея, невриты. Атрофия и болезненность языка	Отходы мукомольной промышленности: дерь, отруби, дрожжи, шроты

## Тема 2. ФЕРМЕНТЫ

**Ферменты, энзимы** – специфические белки всех живых клеток, играющие роль биологических катализаторов. С их помощью осуществляется обмен веществ и энергии в организмах. Открытие ферментов было связано с процессами, идущими с выделением газов (приготовление теста, вина и т. д.). Таким образом, это явление человек наблюдал и использовал тысячелетиями. Известно более 2000 ферментов.

### **Отличие ферментативного катализа от неорганического.**

1. Ферменты действуют в мягких условиях организма ( $p$ ,  $t^\circ$ , рН).
2. Белки-ферменты чувствительны к денатурирующим агентам.
3. Для действия ферментов характерна высокая эффективность.
4. Активность ферментов контролируется (генетически на уровне строения и различными биорегуляторами).

5. В организме, как правило, действуют полиферментные (т. е. поликаталитические) системы, в результате чего достигается многоэтапное направленное превращение вещества с доступными для организма уровнями передачи энергии. Например, в пробирке происходит следующая реакция:  $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O + \text{взрыв (гремучий газ)}$ ; в организме та же реакция, но за счет разбиения ее на фазы протекает без взрыва, а с запасанием энергии в виде аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ).

6. Для действия ферментов характерна специфичность: а) *абсолютная* – фермент катализирует превращение строго определенного вещества (уреаза расщепляет только мочевины на  $\text{CO}_2$  и  $\text{NH}_3$ ); б) *относительная* – фермент катализирует превращения одного типа связей в ряду близких по химическому строению веществ (например, липаза катализирует разрыв сложноэфирных связей независимо от типа радикала).

По строению ферменты-белки бывают простыми (целиком состоят из активного центра (АК) и сложными (содержат также небелковую группу). Для сложных белков-ферментов используют следующие обозначения: *апофермент* – полипептидная часть молекулы фермента; *кофактор* – небелковая часть сложного белка-фермента; *холофермент* – прочный природный комплекс апофермента и небелковой части; *протетическая группа* – прочно связанный с апоферментом кофактор (металлы и др.); *кофермент* – легко определяемый от апофермента, например диализом, кофактор. Апофермент всегда синтезируется в организме, кофакторы должны поступать с пищей.

Ферментативный катализ идет на поверхности фермента. Превращаемые вещества называются *субстратами*. Превращение субстрата происходит в области активного центра, который сформирован в третичной структуре большинства ферментов. У простых белков-ферментов активный центр образован сближенными в пространстве радикалами аминокислот первичной структуры. У сложных белков-ферментов здесь находятся кофакторы. В активном центре выделяют две части: якорная (радикалы аминокислот обеспечивают фиксацию субстрата) и каталитическая (радикалы аминокислот и кофакторы обеспечивают катализ). Помимо активного центра в молекуле фермента присутствует еще и аллостерический центр. Он представляет собой участок молекулы фермента, с которым связываются определенные, как правило, низкомолекулярные вещества (модификаторы), молекулы которых не сходны по строению с субстратом.

### Механизмы действия ферментов

Ферментативная реакция протекает в три стадии: 1) образуется фермент-субстратный комплекс:  $E + S \leftrightarrow ES$  – быстрая стадия, соответствующая фиксации субстрата на якорном участке активного центра. Ускорение реакции достигается за счет сближения и правильной ориентации субстратов относительно друг друга и увеличения их эф-

фективной концентрации; 2) происходит химическая реакция через переходное состояние с образованием продукта реакции на поверхности фермента:  $ES \rightarrow EZ \rightarrow EP$  (где  $ES$  – комплекс фермента с субстратом,  $EZ$  – комплекс истинного переходного состояния,  $EP$  – комплекс между ферментом и продуктом реакции). Как правило, субстрат вступает во временные промежуточные реакции (взаимодействия) с определенными группами активного центра, в результате чего реакция требует более низкой энергии активации; 3) продукт отделяется, а фермент в неизменном виде может вновь вступать в катализ:  $EP \rightarrow E + P$ .

#### ***Факторы, влияющие на скорость ферментативных реакций.***

1. *Концентрация субстрата.* При увеличении концентрации субстрата и постоянной концентрации фермента скорость реакции вначале увеличивается линейно, затем переходит в реакцию смешенного порядка и, достигнув максимума, превращается в реакцию нулевого порядка.

*Энергия активации* – это энергия, которая необходима для перевода всех молекул моля вещества в активированное состояние при данной температуре.

Таким образом, ферменты обладают высокой каталитической активностью, которая обусловлена снижением энергетического барьера – уменьшением энергии активации при образовании фермент-субстратного комплекса.

2. *Концентрация фермента.* При условии избытка скорость ферментативной реакции зависит от концентрации фермента. Эта зависимость подчиняется уравнению прямой.

3. *Температура.* Скорость химической реакции повышается в 2–4 раза при повышении температуры на 10 °С. Однако из-за белковой природы фермента повышение температуры приведет к тепловой денатурации молекул фермента. Поэтому оптимальная температура для ферментов растений составляет 45–50 °С, а для ферментов теплокровных приблизительно 37 °С. Исключение: миокиназа мышц (выдерживает температуру 100 °С).

4. *pH среды.* Ферменты подобно всем белковым молекулам несут заряженные группы. Общий заряд белковой молекулы зависит от pH среды. Зависимость скорости ферментативной реакции от величины pH среды носит колоколообразный характер. Основное количество ферментов проявляет максимальную активность в узком диапазоне pH – оптимум pH. Для большинства из них оптимум pH составляет 7,4, однако для пепсина – 1,0–1,5, для трипсина – 8,6.

*Активаторы ферментов* – это вещества: 1) формирующие активный центр фермента (Co, Mg, Zn, Fe, Ca); 2) облегчающие образование фермент-субстратного комплекса (Mg); 3) восстанавливающие группы (глутатион, цистеин); 4) стабилизирующие нативную структуру белка-фермента.

*Ингибиторы ферментов* – это соединения, которые, взаимодействуя с ферментом, препятствуют образованию нормального фермент-субстратного комплекса, уменьшая тем самым скорость реакции или прекращая ее. Ингибиторы делят на две группы: неспецифические, вызывающие денатурацию белка-фермента (соли тяжелых металлов, кислоты, щелочи и др.), их действие не связано с механизмами ферментативного катализа; специфические, действие которых связано с механизмами ферментативного катализа.

### **Классификация ферментов**

Ранее ферменты назывались по наименованию субстрата с добавлением суффикса *-аза*. Позже ферменты, катализирующие сходные реакции, получили название по типу реакции: дегидрогеназы, оксидазы, декарбоксилазы и др. Международный совет биохимиков предложил положить в основу наименования и классификации ферментов тип химической реакции и ее механизм.

Реакции и ферменты, их катализирующие, делят на шесть классов, каждый из которых состоит из 4–13 подклассов: оксидоредуктазы, трансферазы, гидролазы, лиазы, изомеразы, лигазы (синтетазы).

## **Тема 3. ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ**

Приступая к изучению отдельных тем динамической и функциональной биохимии, необходимо вспомнить строение и химические свойства органических веществ, механизмы основных реакций (гидролиза, гидратации, гидрирования, дегидрирования, этерификации и т. д.), что позволит более полно понять и осмыслить биологическое значение этих реакций и превращение веществ в метаболизме.

Приступая к изучению темы, необходимо четко усвоить, что основным объектом изучения динамической биохимии является обмен веществ, осуществляемый между живым организмом и окружающей средой через поступающие в организм вещества, их превращение и

выведение в виде невостребованных конечных продуктов. Наличие такого обмена у живых организмов качественно отличает их от неживых тел. *Обмен веществ* – это комплекс биохимических превращений, состоящий из неразрывно связанных процессов анаболизма и катаболизма.

Соотношение химических реакций анаболизма и катаболизма в живом организме может изменяться в зависимости от физиологического состояния организма и влияния факторов внешней среды. Существуют общие тенденции изменения этого соотношения. Например, у растущих организмов реакции анаболизма преобладают над реакциями катаболизма, при различных патологиях смещение чаще идет в сторону процессов распада. Необходимо ориентироваться и учитывать эти изменения при изучении в дальнейшем метаболизма отдельных органов и тканей.

Основные биохимические реакции обмена веществ протекают на клеточном уровне. Клетка является структурным элементом любого живого организма, и ей присущи две основные функции: обмен веществ и воспроизведение себе подобных. Обе функции обеспечиваются огромным числом химических реакций (окисление, восстановление, расщепление, объединение молекул, межмолекулярного и внутримолекулярного переноса атомных групп), скоординированных во времени и пространстве. Течение химических реакций осуществляется с помощью биокатализаторов белковой природы – ферментов. Ферментам отводится центральная роль в обмене веществ. Возможность подобной координации и регуляции реакций, зачастую противоположного характера, обусловлена компартментализацией, или разделением клетки на отделы и отсеки. Для более полного понимания этих процессов целесообразно ознакомиться со строением и специализацией клеточных органелл в обмене веществ, специфичной локализацией определенных ферментов.

В биохимии различают понятия «общий обмен» и «основной обмен». *Общий обмен* – это обмен углеводов, белков, липидов и других веществ. *Основной обмен* – это обмен веществ, но минимальный по интенсивности, необходимый только для поддержания жизни в условиях абсолютного покоя.

В зоотехнии выделяют понятие *продуктивный обмен* – это обмен веществ, необходимый для поддержания жизни и производства продукции (молока, яиц, шерсти, наращивания мышечной и жировой ткани). Скармливание кормов сверх потребности на поддержание жизни и позволяет получить продукцию от животных.

Общий обмен веществ складывается из обменов отдельных веществ (витаминов, гормонов, микроэлементов, белков, жиров, углеводов и т. д.).

Следует обратить внимание на то, что отдельным видам животных присущ свой собственный тип обмена веществ, закрепленный генетически, но основные биохимические процессы (гликолиз, цикл трикарбоновых кислот,  $\beta$ -окисление жирных кислот и т. д.) одинаковы для большинства живых организмов.

Условно обмен веществ разделяют на несколько этапов:

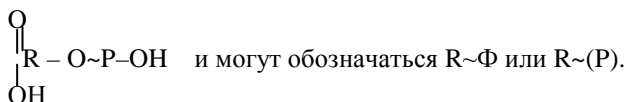
- 1) пищеварение;
- 2) всасывание и транспорт питательных веществ по всему организму;
- 3) промежуточный или внутриклеточный обмен;
- 4) выделение конечных продуктов обмена.

Промежуточный обмен веществ является основным объектом изучения в биохимии. При тканевом обмене образуется огромное количество промежуточных продуктов. Многие из них являются узловыми метаболитами. Это такие вещества, которые образуются как промежуточные или конечные продукты одних реакций и служат начальным субстратом для других метаболических путей. Например, активированная уксусная кислота (ацетил-КоА) является промежуточным продуктом окисления углеводов, но в случае необходимости организм может использовать ацетил-КоА как первоисточник в синтезе высших жирных кислот. Наличие узловых метаболитов выгодно для клетки и организма в целом, так как, потребляя с пищей, например, только углеводы, организм может синтезировать собственные жиры и белки.

Любая химическая реакция сопровождается поглощением или выделением энергии. Химические реакции, протекающие в живых клетках, не являются исключением и подчиняются основным законам термодинамики. Следовательно, обмен веществ неразрывно связан с сопутствующим ему обменом энергии. Энергия поглощается организмом из внешней среды в основном в форме энергии химических связей пищевых веществ. Далее она преобразуется в доступные для клетки формы и расходуется на обогрев тела, работу мышц, биосинтез собственных веществ, осмотическую работу. Обмену энергии следует уделить особое внимание, так как в зоотехнии разработана и используется система оценки энергетической питательности кормов и нормы кормления на основе обменной энергии. *Обменная энергия* – это часть свободной (потенциальной) энергии корма, которая используется ор-

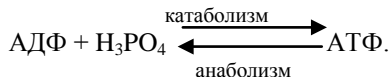
ганизмом для обеспечения жизненных процессов и продуктивности. Органические вещества, содержащие много углерода и водорода и мало кислорода (жиры), обладают наибольшим запасом потенциальной энергии.

Энергия в организме выделяется постепенно и порциями в результате внутриклеточного окисления белков, жиров, углеводов. Выделяемая в результате окисления веществ энергия превращается в другие виды работы без промежуточного образования тепла, что очень важно для живого организма. Посредником между выделением энергии и использованием ее на физиологические нужды организма выступают вещества, запасующие выделяемую энергию в своих высокоэнергетических (макроэргических) связях. Считается, что примерно 50 % всей образующейся энергии рассеивается в виде тепла, 50 % используется на синтез макроэргических соединений (макроэргов). К макроэргам относят молекулы, у которых величина стандартной свободной энергии ( $\Delta G^\circ$ ) гидролиза связей превышает 21 кДж/моль<sup>-1</sup>. Как правило, такие вещества содержат высокоэнергетическую фосфатную группу:



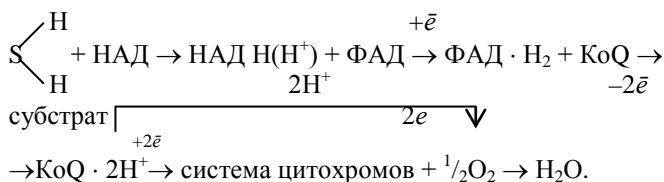
Из макроэргических соединений наиболее распространены ди- и трифосфаты (АТФ, ГТФ, ЦТФ, УТФ, АДФ, ГДФ, УДФ, ЦДФ), карбоксилфосфаты, фосфоамидные соединения, креатинфосфат, ацетил-КоА и т. д.

При изучении темы следует обратить внимание на то, что высокоэнергетические соединения не всегда могут отдавать энергию фосфатных связей напрямую низкоэнергетическим веществам при синтезе последних. Посредником в этом процессе выступает АТФ. Энергия окисления веществ используется для синтеза молекулы АТФ из аденозиндифосфата (АДФ) и  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Синтез и распад молекулы АТФ за счет энергии реакций анаболизма и катаболизма называют *аденилатной системой*:



Необходимо уметь выделять образование макроэргов при написании биохимических реакций.

*Биологическое окисление* – это совокупность окислительно-восстановительных реакций, происходящих в живых организмах и обеспечивающих их энергией и метаболитами. Разновидностью и основой биологического окисления является тканевое дыхание. Акцептором водорода в реакциях тканевого дыхания выступает кислород. Тканевое дыхание присуще всем живым клеткам. Поступающие в клетку вещества (субстраты), окисляясь, могут терять два атома водорода в виде электронов и протонов или присоединять атомарный кислород. В первом случае работают дегидрогеназы, во втором – оксигеназы – ферменты класса оксидоредуктаз. Перенос атомов водорода в виде протонов и электронов на кислород осуществляет упорядоченная система ферментов, называемая дыхательной цепью ферментов, или редокс-цепью. Ферменты дыхательной цепи сконцентрированы во внутренней мембране митохондрий, и их работу рекомендуется представлять следующей схемой:



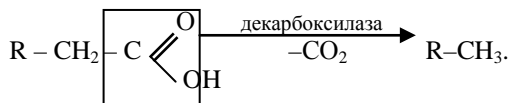
Ферменты дыхательной цепи используют четыре группы коферментов, их сокращенные названия и отражены в схеме.

При окислении субстратов в результате работы дыхательной цепи ферментов образуется один из трех основных конечных продуктов окисления – вода. В качестве окисляемых субстратов могут выступать ди- и трикарбоновые кислоты аэробного окисления углеводов (ЦТК), ацетил-КоА, глицерофосфат, α-аминокислоты и т. д.

Образующаяся вода называется эндогенной и может использоваться организмом в метаболических реакциях или выводиться из организма.

Доказано экспериментально, что с участием дыхательной цепи ферментов окисляется до 90 % субстратов, но существуют и другие пути окисления. Флавиновые ферменты (ФФ) являются более сильными окислителями, чем пиридиновые дегидрогеназы, поэтому они могут передавать водороды непосредственно на кислород с образованием токсичной для клеток перекиси водорода (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) или, минуя пиридин-зависимую дегидрогеназу, включаться в работу дыхательной цепи ферментов.

Второй конечный продукт окисления веществ – углекислый газ. Образуется в результате реакций декарбоксилирования карбоновых кислот:



Катализируют реакции декарбоксилирования ферменты класса лиаз, коферментом которых выступает тиаминпирозинфосфат (ТПФ) – пирозинфосфатный эфир витамина В<sub>1</sub>. В животных тканях наиболее распространено окислительное декарбоксилирование α-кетокислот, например, окислительное декарбоксилирование пировиноградной (ПВК) и α-кетоглутаровой при аэробном окислении углеводов. Необходимо выяснить механизмы окислительного декарбоксилирования и какие конкретно коферменты (ТПФ, ЛК, HS-КоА, ФАД, НАД) принимают участие в этой реакции. Часть образующегося углекислого газа используется тканями как источник углерода, а основная масса выделяется через легкие. В результате реакций биологического окисления в клетке создается наиболее важный для нее третий конечный продукт – энергия. Часть ее рассеивается в виде тепла, и этот процесс называется свободным окислением. Часть запасается и используется в реакциях синтеза и при выполнении физиологических функций. Запас энергии в виде макроэргических связей связан с процессами фосфорилирования.

В процессе окислительного фосфорилирования окисление субстратов идет различными путями и количество образующихся при этом молекул АТФ также различно.

Образование АТФ за счет энергии биологического окисления называется *окислительным фосфорилированием*. Биосинтез АТФ осуществляется из АДФ и активированного неорганического фосфата.

Существует несколько теорий окислительного фосфорилирования. Согласно химической теории сопряжение окисления и фосфорилирования обеспечивается посредством специальных переносчиков (НАД, убихиноны, витамины Е и К и др.).

Вначале первый переносчик восстанавливается; затем этот переносчик взаимодействует со вторым и третьим переносчиками, что приводит к его окислению и возникновению макроэргической связи между вторым и третьим переносчиками; последнее соединение вступает в реакцию с посредником; макроэргическое соединение взаимодействует с неорганическим фосфатом; активированный фосфат переносится в виде макроэргической связи на АДФ.

При **субстратном фосфорилировании** субстрат непосредственно соединяется с активированным фосфатом, что приводит к образованию между ними макроэргической связи.

Синтез АТФ в цепи осуществляется на трех участках. Первая молекула АТФ образуется при переносе электронов от восстановленных форм никотинамидных коферментов на флавиновые коферменты, вторая – от восстановленного цитохрома *b* на цитохром *c*. Третья молекула АТФ образуется в результате переноса пары электронов от цитохрома *c* на цитохромоксидазу.

**Макроэргические соединения** – это высокоэнергетические соединения, имеющие в своем составе высокоэнергетическую фосфорильную группу. К ним относятся креатинфосфат, ацетилсукцинил-КоА, фосфопировиноградная кислота и др.

Основа биологического окисления – тканевое дыхание, представляющее собой совокупность окислительно-восстановительных реакций, связанных с потреблением организмом кислорода, освобождением химической энергии, выделением углекислого газа и воды.

При анаэробном и аэробном окислении свободная энергия окислительно-восстановительных реакций аккумулируется в виде АТФ.

Гиалоплазма клетки содержит ферменты гликолиза и гликогенолиза, здесь и происходит анаэробное окисление субстратов. В матриксе митохондрий сконцентрированы ферменты цикла трикарбоновых кислот и окисления жирных кислот.

Тканевое дыхание осуществляется дыхательной цепью поэтапно. В частности, молочная кислота дегидрируется ЛДГ и превращается в пировиноградную, яблочная МДГ в ЩУК. Молекула дегидрогеназы состоит из простого белка и кофермента – НАД и НАДФ. Кофермент способен взаимодействовать с отщепленным атомом водорода, восстанавливаться и передавать его на другие акцепторы. Затем атомы водорода переносятся на молекулу флавинового фермента или ФАД. Они окисляют восстановленные формы НАД и НАДФ и переносят атомы водорода на следующее звено, которым является убихинон, который, присоединяя отщепленный атом водорода, восстанавливается и окисляет флавиновые ферменты.

Далее протоны переходят в окружающую среду, а электроны поступают в цитохромную систему. Она принимает электроны последовательно на цитохромы. Цитохромоксидаза передает электроны молекулярному кислороду, активируя его. Кислород взаимодействует с ионами водорода, образуя воду.

**Кофермент** – это кофактор органической природы, необходимый для деятельности многих ферментов. Часто в состав коферментов входят витамины.

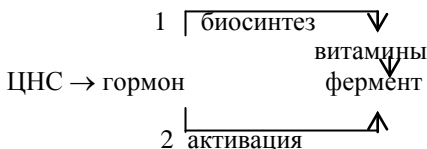
Примеры коферментов:

- 1) НАД и НАДФ (анаэробная дегидрогеназа) – участвует в переносе протонов водорода, содержит витамин РР;
- 2) липоевая кислота – входит в состав оксидаз;
- 3) коэнзим А – входит в состав трансфераз, участвующих в переносе и превращении остатков жирных кислот (ЖК);
- 4) кофермент В<sub>12</sub> – участвует в переносе метильных групп.

## Тема 4. ГОРМОНЫ

**Гормоны** – это биологически активные вещества, вырабатываемые в небольших количествах клетками внутренних (эндокринных) желез и выделяемые непосредственно в кровь. В организме выполняют роль регуляторов и координаторов метаболических процессов.

Действие механизма регуляции обмена веществ обеспечивается двумя неразрывно связанными системами: центральной нервной системой (ЦНС) и системой эндокринных желез. Отсюда и название – нейрогуморальный механизм регуляции обмена веществ. В общем случае представить этот механизм можно с помощью следующей схемы:



Главная роль в нейрогуморальной регуляции обмена веществ отводится ЦНС – она непосредственно влияет на деятельность эндокринных желез через сеть нервных окончаний.

Внутренние железы и их секреты образуют гормональную систему, контролирующую деятельность непосредственно органов и тканей и оказывают влияние на ЦНС. Связующим звеном между ЦНС и гормональной системой является гипоталамус и гипофиз – железы внутренней секреции, являющиеся частью головного мозга.

Поступление гормонов в кровь постоянно меняется под действием внутренних, внешних факторов и импульсов нервной системы. Регулирующее действие гормонов проявляется в изменении активности ферментов, которые в свою очередь отвечают за течение биохимических реакций. Регуляция может быть срочной (мгновенной). В этом случае активизируются уже имеющиеся в клетке ферменты (путь 2 в схеме).

Регуляция может быть длительной (хронической). В этом случае гормон оказывает влияние на биосинтез новых ферментов при участии генов (путь 1 в схеме). Витамины включаются в эту схему как небелковая часть (кофактор) при синтезе двухкомпонентных (сложных) ферментов.

Регулирующее действие гормонов может осуществляться и другими путями.

1. Гормоны могут стимулировать деятельность коферментов, активаторов и ингибиторов белковой природы и тем самым не напрямую, а косвенно регулировать активность ферментов.

2. Гормоны способны изменять проницаемость клеточных мембран. Например, инсулин является репрессором синтеза ферментов глюкозогеназы и гликогенсинтетазы и в то же время изменяет проницаемость клеточных мембран, открывая возможность перехода глюкозы из крови в клетки, снижая ее уровень в крови. Гормоны коркового слоя надпочечников, изменяя проницаемость мембран, влияют на межклеточное перераспределение электролитов в тканях.

Классифицируют гормоны по месту синтеза, характеру и механизму действия, химической природе (табл. 2).

Таблица 2. Железы внутренней секреции и их гормоны

Железы	Выделяемые гормоны	Функции
1	2	3
Гипоталамус	Либерины и статины	Регуляция секреции гипофизарных гормонов
Гипофиз	Тройные гормоны (АКТГ, ТТГ, ФСГ, ЛГ, ЛТГ)	Регуляция деятельности щитовидной, половых желез и надпочечников
	Гормон роста	Регуляция роста организма, стимуляция белкового синтеза
	Вазопрессин (антидиуретический гормон)	Влияние на интенсивность мочевыделения путем регуляции количества выделяемой организмом воды
Щитовидная железа	Тиреоидные (иодосодержащие) гормоны – тироксин и др.	Повышение интенсивности энергетического обмена и роста организма, стимуляция рефлексов
	Кальцитонин	Контроль обмена кальция в организме путем «сбережения» его в костях

1	2	3
Паращитовидная железа	Паратгормон	Регуляция концентрации в крови кальция
Поджелудочная железа (островки Лангерганса)	Инсулин	Снижение уровня глюкозы в крови, стимуляция печени на превращение глюкозы в гликоген для запасаения, ускорение транспорта глюкозы в клетки (кроме нервных клеток)
	Глюкагон	Повышение уровня глюкозы в крови, стимуляция быстрого расщепления гликогена до глюкозы в печени и превращение белков и жиров в глюкозу
Надпочечники	Мозговой слой: адреналин норадреналин	Повышение уровня глюкозы в крови (поступление из печени для покрытия энергетических затрат); стимуляция сердцебиения, ускорение дыхания и повышение кровяного давления
	Корковый слой: глюкокортикоиды (кортизон)	Одновременное повышение глюкозы в крови и синтеза гликогена в печени, влияющее на жировой и белковый обмен (расщепление белков). Устойчивость к стрессу, противовоспалительное действие
	Альдостерон	Увеличение натрия в крови, задержка жидкости в организме, увеличение кровяного давления
Половые железы	Эстрогены (женские половые гормоны), андрогены (мужские половые гормоны)	Обеспечение половой функции организма, развитие вторичных половых признаков

## Тема 5. ОБМЕН УГЛЕВОДОВ

Все углеводы условно делятся на две группы.

1. Углеводы с преимущественно энергетической функцией. Глюкоза при полном окислении 1 молекулы дает 38 молекул АТФ. Из глюкозы образуются все другие углеводы организма. Гомополисахариды (крахмал – в растениях, гликоген – в животных клетках) несут резервную функцию.

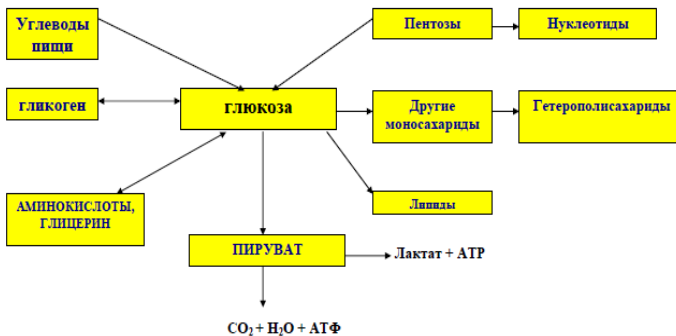
2. Углеводы с преимущественно структурной функцией. Гликопротеиды и гликолипиды входят в состав мембран клеток и участвуют в специфических взаимодействиях (рецепторы).

Глюкоза является основным метаболитом углеводного обмена. Основные источники глюкозы: 1) пища; 2) распад резервного полисахарида гликогена; 3) синтез глюкозы из неуглеродных предшественников (аминокислот).

Основные пути расходования глюкозы: 1) образование энергии при аэробном и анаэробном окислении глюкозы; 2) превращение в другие моносахариды; 3) превращение в гликоген и гетерополисахариды; 4) превращение в жир, некоторые аминокислоты и др.

### Метаболизм глюкозы

Катаболизм глюкозы – гликолиз  
 Синтез глюкозы – глюконеогенез  
 Депонирование и распад гликогена  
 Синтез пентоз – пентозофосфатные пути

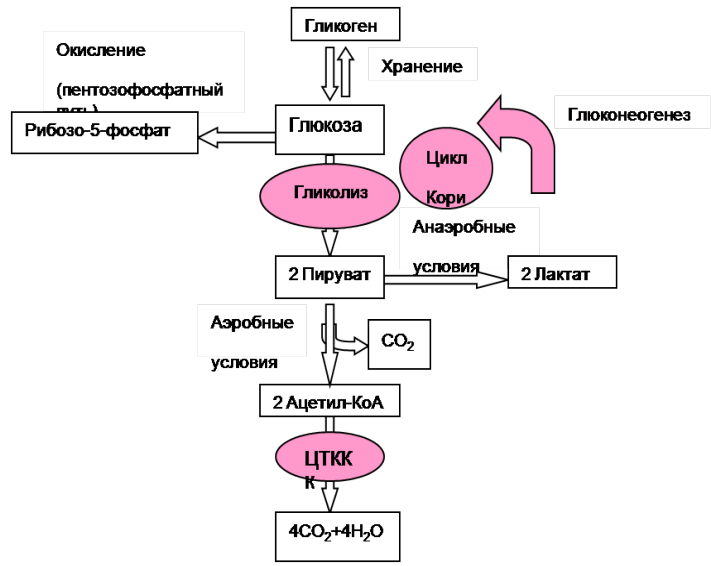
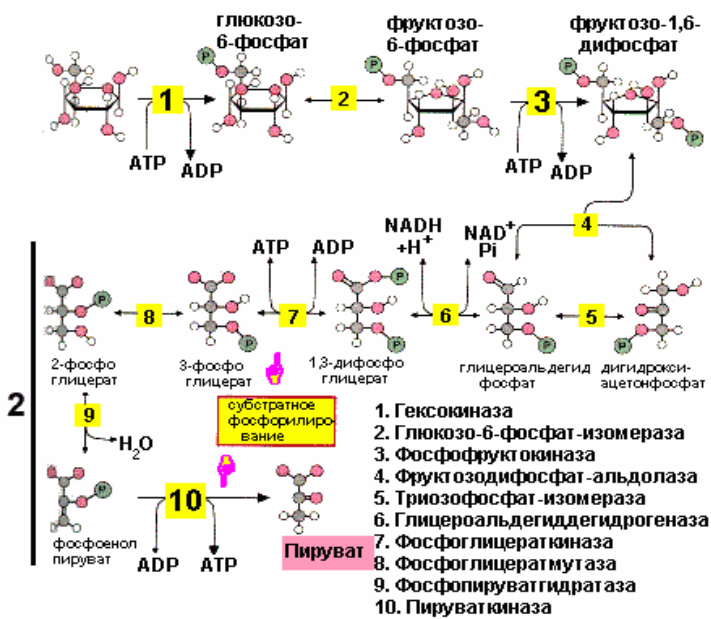


### Биосинтез гликогена

Если для синтеза гликогена источником служит глюкоза, этот процесс называется *гликогенез*. Если другие соединения – *глюконеогенез*.

В организме печень выполняет следующие функции:

- 1) биосинтез и расщепление углеводов (депо);
- 2) поддержание в организме определенного содержания глюкозы;
- 3) ресинтез гликогена.



Гликоген – источник химической энергии и регулятор осмотического давления.

Расщепление гликогена осуществляется двумя путями: фосфолизом и гидролизом. В тканях и клетках основными энергетическими превращениями углеводов являются: анаэробное расщепление, цикл трикарбоновых кислот (ЦТК) и пентозофосфатный путь (ПФП).

*Анаэробный распад глюкозы (гликолиз) или гликогена (гликогенолиз – анаэробный распад гликогена).* Гексозы в виде глюкозы в анаэробных условиях через ряд реакций превращаются в две молекулы молочной кислоты, в результате образуется две молекулы АТФ. А при гликогенолизе из одной молекулы глюкозы образуется три молекулы АТФ.

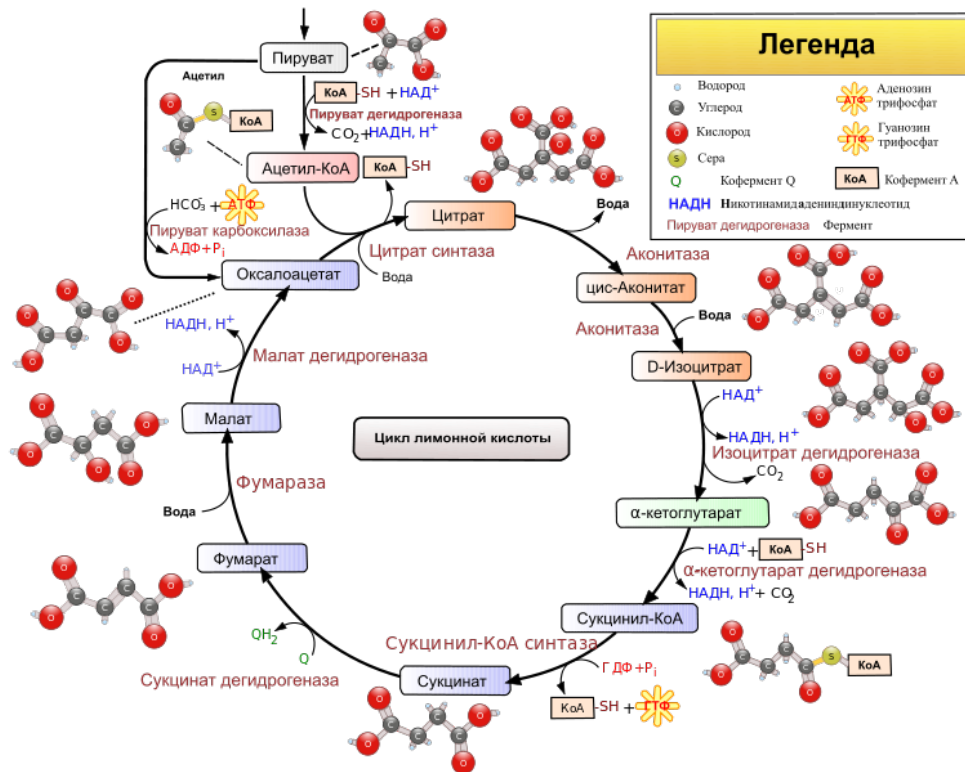
Первый этап аэробного окисления – аэробный гликолиз – полностью повторяет механизмы гликолиза, включая образование пировиноградной кислоты.

Второй этап дыхания – это ЦТК. На этом этапе образовавшаяся пировиноградная кислота превращается специфическим путем в углекислый газ и воду с образованием АТФ. При дыхании пировиноградная кислота через процессы декарбоксилирования превращается в ацетил-КоА, который включается в ЦТК.

Аэробное расщепление углеводов в основном локализовано в гиалоплазме, поэтому реакции клеточного дыхания преимущественно протекают в митохондриях.

*Цикл трикарбоновых кислот* – один из важнейших катаболических процессов аэробных организмов. Вместе с тем в ЦТК образуется много промежуточных продуктов обмена, которые могут использоваться организмом для биосинтеза органических веществ. Так, ацетил-КоА используется не только в энергетическом обмене, но и для синтеза ЖК, холестерина, ацетилхолина.

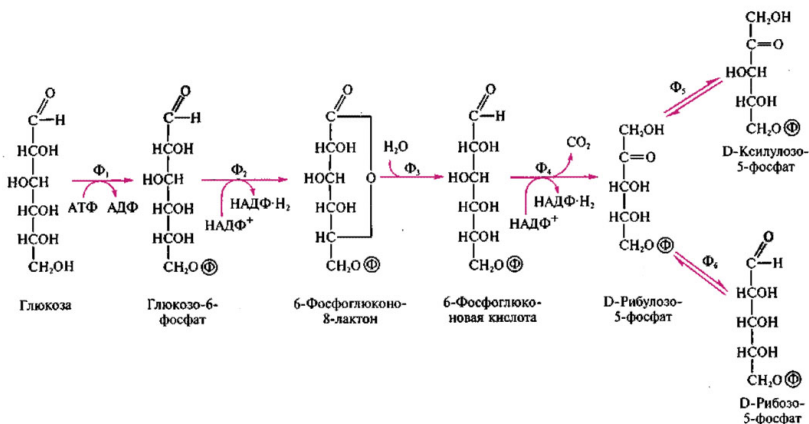
Пировиноградная кислота, ЩУК и кетоглутаровая кислота в процессах переаминирования служат для образования аминокислот: Ала, Асп, Глу. В свою очередь, кетокислоты образуются в процессах дезаминирования и переаминирования приведенных аминокислот.



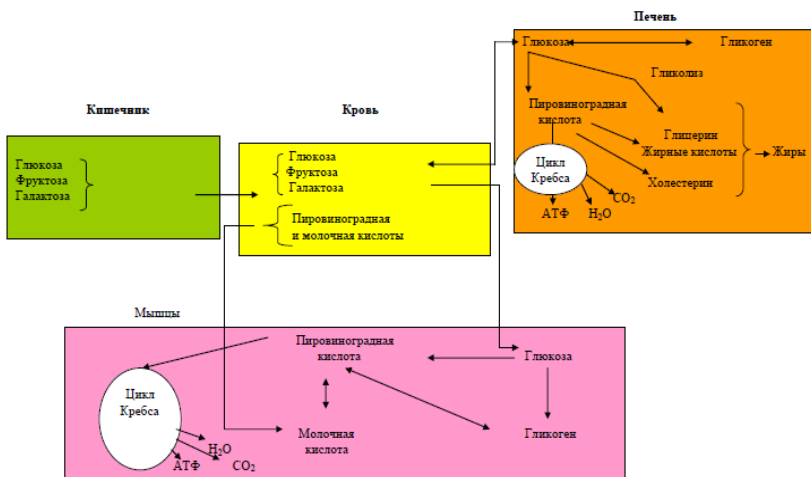
Таким образом, из 1 молекулы глюкозы образуется 38 молекул АТФ (2 – анаэробное окисление, 6 – окисление НАД и 30 – за счет ЦТК).

*Пентозофосфатный путь* – это цепь последовательных химических превращений углеводов, в результате которых в тканях и клетках освобождается энергия и образуются пентозы, необходимые для синтеза нуклеиновых кислот, нуклеотидов и коферментов.

Пентозному пути принадлежит важная роль в синтезе жиров.



### Схема усвоения углеводов в организме

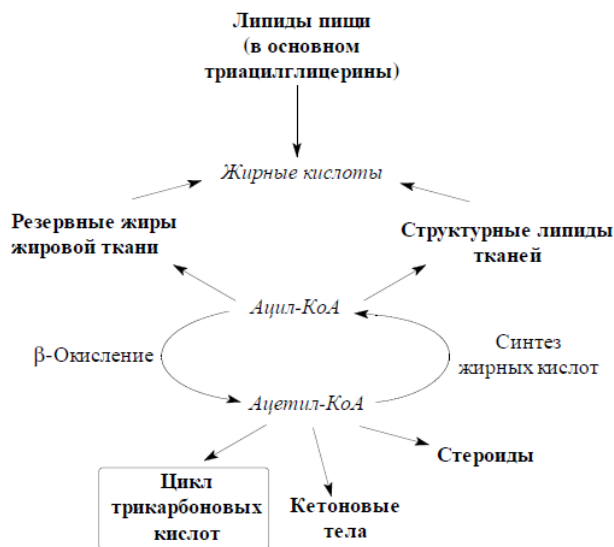


## Тема 6. ОБМЕН ЛИПИДОВ

**Липиды** – это группа соединений, нерастворимых в воде, но растворимых в органических растворителях.

Липиды делят на две группы: неомыляемые (не содержат жирных кислот) и омыляемые. К неомыляемым относятся стероиды, каротиноиды и терпеноиды. Омыляемые липиды делятся на простые и сложные. К простым относятся жиры – триацилглицерины (резерв энергии) и воски – эфиры одноатомного спирта с жирной кислотой. Сложные липиды делят на фосфолипиды и гликолипиды. Жирные кислоты могут быть насыщенными и ненасыщенными.

**Функции липидов:** 1) пластическая – липиды входят в состав мембран и определяют их свойства (проницаемость, жидкость и др.); 2) энергетическая – липиды служат энергетическим материалом для организма; при окислении 1 г жира выделяется 39 кДж/моль энергии, что в два раза больше, чем при окислении 1 г белков или углеводов; липиды – долгосрочный резерв энергии; 3) защитная – липиды предохраняют тело и органы от механического повреждения и сохраняют тепло; 4) регуляторная (стероидные гормоны); 5) эмульгирование жиров (пищеварение), стабилизация липидсодержащих жидкостей (желчь).



## Окисление жирных кислот

Окислительное превращение жирных кислот осуществляется во всех живых организмах. Известно три типа окислительных превращений:  $\alpha$ -окисление,  $\beta$ -окисление,  $\omega$ -окисление.

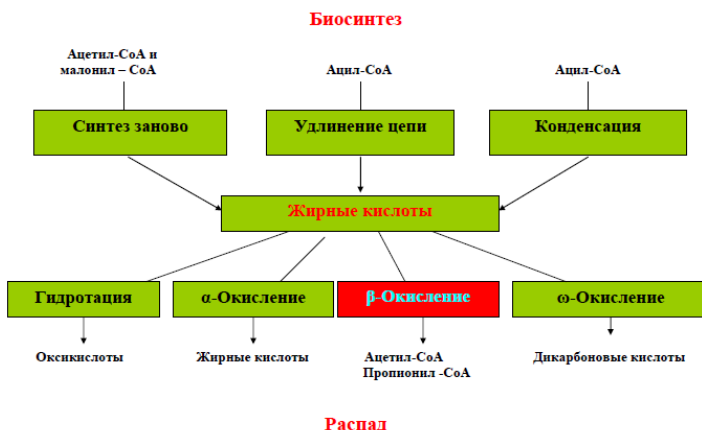
Процесс  **$\beta$ -окисления** жирных кислот активно протекает в печени, почках, сердечной и скелетной мышцах. Ферменты, катализирующие реакции  $\beta$ -окисления, локализованы в митохондриях клетки.

При  $\beta$ -окислении в каждом цикле жирная кислота укорачивается на два углеродных атома, образуя ацетил-КоА.

Ацетил-КоА, образующийся при  $\beta$ -окислении, служит субстратом для трех важнейших метаболических путей: 1) окисление в ЦТК; 2) биосинтез жирных кислот; 3) образование кетоновых тел.

Окисление жирных кислот – очень важный процесс для высших животных и растений, организм которых может запасать и хранить значительные количества нейтральных жиров в качестве резервного топлива. В норме человек запасает в виде жиров в 50 раз больше энергии, чем в виде полисахарида гликогена.

### Пути обмена жирных кислот



Жиры являются наиболее компактной формой запасаания энергии и могут накапливаться в организме в неограниченном количестве. Жир характеризуется высокой калорийностью (примерно 38 кДж/г) и со-

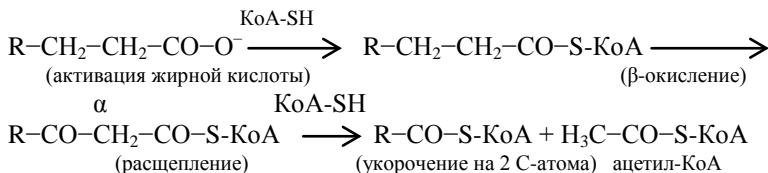
хранятся в практически безводной форме в виде внутриклеточных жировых капелек, тогда как гликоген или крахмал (калорийность 17 кДж/г) слишком сильно гидратированы и поэтому не могут храниться в столь концентрированной форме. У позвоночных, по меньшей мере, половина энергии, поставляемой окислительными процессами, обеспечивается за счет окисления жирных кислот. У голодающих животных жир является по существу единственным источником энергии.

Наиболее важным процессом окисления жирных кислот является так называемое  $\beta$ -окисление, которое происходит при участии коэнзима А (сокращенно КоА-SH). Этот кофермент участвует в биохимических реакциях переноса ацильной группы  $\text{CH}_3\text{CO}$  и образует при биосинтезе большинства классов природных соединений интермедиат – ацетилкоэнзим А (сокращенно ацетил-КоА, или  $\text{CoA-SCOCH}_3$ ), который является продуктом ацилирования коэнзима по свободной SH-группе.

Поступающий в организм жир сначала подвергается гидролизу для выделения жирных кислот, затем с помощью водорастворимых белков (сывороточного альбумина) последние доставляются кровью к клеткам. Освободившись от белка, они проходят сквозь клеточные мембраны в цитозоль. Кроме этого, в самом цитозоле есть триацилглицериды, которые расщепляются под действием липаз до свободных жирных кислот и глицерина. Затем свободные жирные кислоты с помощью специальных ферментов, находящихся на поверхности клеточных мембран митохондрий, проникают внутрь митохондрий (в митохондриальный матрикс), где и осуществляется их аэробное окисление до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Ферменты, участвующие в переносе жирных кислот (ацил-КоА-синтазы) катализируют реакцию, в ходе которой возникает связь между остатком жирной кислоты и атомом серы КоА-SH и образуется высокоэнергетическое производное жирной кислоты, гидролиз которого до свободной кислоты так же, как и гидролиз ацетилкоэнзима А, сопровождается выделением энергии (примерно 31 кДж/моль). Поэтому эта стадия носит название *активация жирной кислоты*.

Для превращения кислоты в активированную форму расходуется энергия аденозинтрифосфата АТФ – нуклеотида, содержащего остатки аденозина (аденин + рибоза) и трифосфатную группу, в которой имеются две высокоэнергетические связи. Реакции разрыва этих связей сопровождаются выделением большого количества энергии (примерно 31 кДж/моль в расчете на одну связь).

В ходе процесса окисления жирные кислоты и их метаболиты находятся в активированной форме. В общем виде последовательность ферментативных реакций на первом этапе окисления жирных кислот можно представить так:



Процесс  $\beta$ -окисления является последовательностью ферментативных реакций: дегидрирования, гидратации и собственно окисления.

За одну стадию окисления цепь атомов углерода жирной кислоты укорачивается на две единицы (отщепляется ацетил-КоА) через промежуточное образование  $\beta$ -кетоацетил-КоА, именно поэтому весь процесс называется  $\beta$ -окислением. Когда остается четырехуглеродный остаток жирной кислоты (ацетоацетил-КоА), то из него в результате реакции расщепления образуются две молекулы ацетил-КоА. На втором этапе окисления ацетильная группа ацетил-КоА окисляется до углекислого газа и воды, а энергия активированных связей ацетил-КоА переходит в энергию активированных связей АТФ. В результате весь процесс окисления жирных кислот сопровождается образованием АТФ: при окислении одной молекулы пальмитиновой кислоты генерируется 129 богатых энергией фосфатных связей, суммарная энергия которых равна примерно 3935 кДж. Поскольку свободная энергия сгорания пальмитиновой кислоты составляет 9791 кДж/моль, то на долю энергии, запасаемой в виде фосфатных связей, приходится около 40 %. Следует однако отметить, что такое высокоэнергетическое вещество, как АТФ, не накапливается в организме в значительных количествах, поскольку быстро гидролизуется, обеспечивая его энергетические потребности.

Транспорт жирных кислот из цитоплазмы митохондрии происходит с помощью переносчика. Такую роль выполняет карнитин.

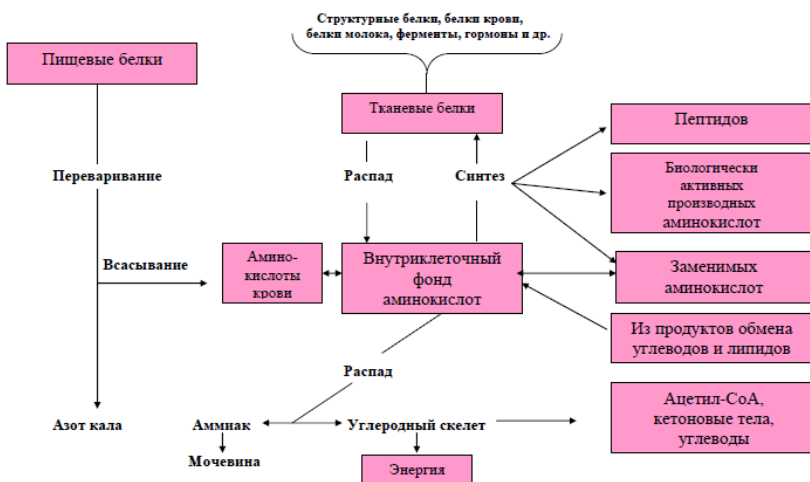
**$\alpha$ -Окисление.** Окисление высокомолекулярных жирных кислот с образованием  $\alpha$ -оксикислот представлено в микросомах мозга, а также в растительных тканях.



белков и всасывание аминокислот; 2) внутриклеточный протеолиз белков; 3) образование заменимых аминокислот.

Пути потребления аминокислот: 1) синтез пептидов и белков (основной путь); 2) синтез небелковых азотсодержащих соединений (пуринов, НАД и т. д.), медиаторов (ацетилхолина), тканевых биорегуляторов (гистамина, серотонина); 3) синтез углеводов (гликонеогенез) с использованием углеродных скелетов аминокислот; 4) синтез липидов с использованием ацетильных остатков углеродных скелетов аминокислот; 5) окисление до конечных продуктов с выделением энергии.

### Общая схема обмена белков в организме



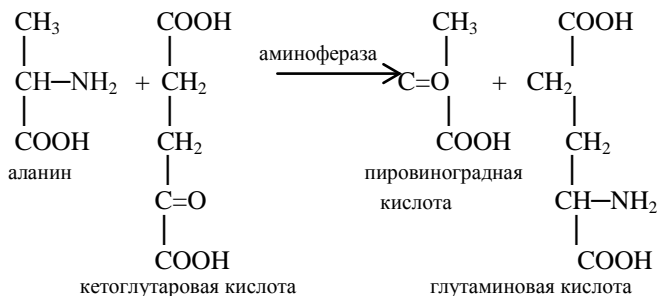
Поскольку аминокислоты являются главным источником азота для азотсодержащих соединений, они определяют состояние азотистого баланса организма. Азотистый баланс – это разность между азотом, вводимым с пищей, и азотом, теряемым с выделениями. Возможны три варианта: 1) азотистое равновесие: азот вводимый = азоту теряемому (зрелый возраст); 2) положительный азотистый баланс: азот вводимый > азота теряемого (рост); 3) отрицательный азотистый баланс: азот вводимый < азота теряемого (старение).

*Типичные реакции обмена α-аминокислот* как бифункциональных соединений являются общими для различных аминокислот: 1) по аминной группе – реакции трансаминирования и дезаминирования;

2) по карбоксильной группе – реакции декарбоксилирования. Реакции по радикалу являются специфичными для каждой аминокислоты.

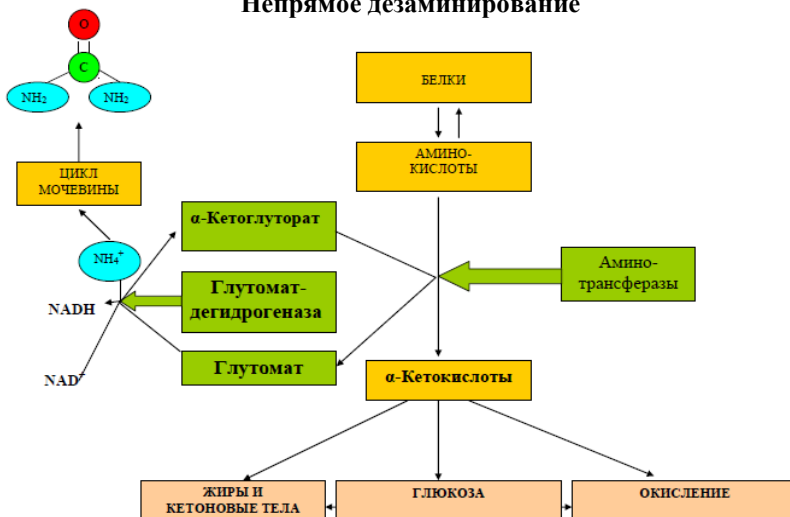
**Трансаминирование** – это реакции межмолекулярного переноса аминогруппы от аминокислоты на кетокислоту без промежуточного образования аммиака.

### Схема реакции переаминирования

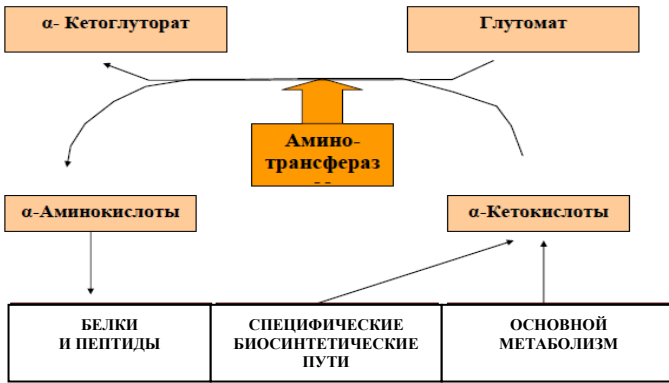


Таким образом, роль трансаминирования состоит в следующем: 1) образование заменимых аминокислот; 2) накопление  $\alpha$ -аминогрупп в форме одной аминокислоты – глутаминовой кислоты. Реакции, катализируемые аминотрансферазой, как правило, являются пунктами переключения метаболических превращений.

### Непрямое дезаминирование



## Трансаминирование

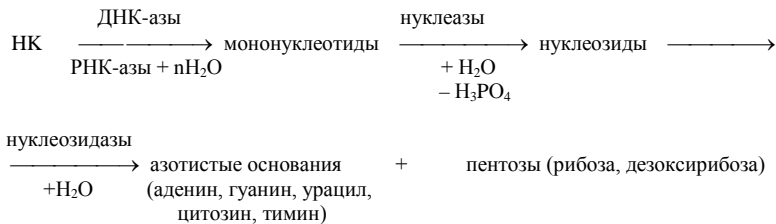


В процессе эволюции живые организмы выработали различные типы азотистого обмена. При **аммониотелическом типе** главным конечным продуктом азотистого обмена является аммиак; он свойствен преимущественно рыбам. При **уреотелическом типе** обмена основным конечным продуктом обмена белков является мочеви́на; такой тип характерен для человека и животных. **Урикоотелический тип** характерен для птиц и рептилий; главным конечным продуктом данного типа обмена является мочева́я кислота.

## Тема 8. ОБМЕН НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ

Значение нуклеиновых кислот (НК) для живого организма определяется такими основными функциями, как хранение и передача наследственности, участие в биосинтезе белка.

По химическому составу различают дезоксирибонуклеиновые кислоты (ДНК) и рибонуклеиновые кислоты (РНК). Обычно в живых клетках НК входят как простетическая группа в состав сложных белков нуклеопротеидов. Нуклеопротеиды, попадая в составе пищевых веществ в ЖКТ, подвергаются поэтапному гидролизу при участии ферментов панкреатического и кишечных соков. Отщепление НК от белка происходит частично в желудке и заканчивается в кишечнике при участии пепсина и трипсина. В кишечнике свободные НК расщепляются по следующей схеме.



В результате расщепления НК в ЖКТ образуются азотистые основания, пентозы и ортофосфорная кислота. Обратите внимание на отличие в строении ДНК и РНК. Всасываться могут не только продукты глубокого гидролиза, но частично мононуклеотиды и нуклеозиды. Всававшиеся продукты распада НК используются тканями как пластический и энергетический материал.

Распад НК в тканях происходит примерно по той же схеме, что и в ЖКТ, но уже с участием тканевых ферментов. Рибоза и ортофосфорная кислота могут включаться в реакции, характерные для обмена этих веществ. Образующиеся пуриновые и пиримидиновые основания ядовиты и обезвреживаются в основном в печени и меньшей степени в других органах. Обезвреживание азотистых оснований имеет свои особенности и зависит от того, в каком виде находится в них азот: в виде аминогруппы или в составе гетероцикла. При этом образуются гипоксантин, ксантин, мочева кислота, алантоин,  $\beta$ -аланин,  $\beta$ -аминоизомасляная кислота, свободный аммиак, углекислый газ.

## Тема 9. ВЗАИМОСВЯЗЬ ОБМЕНА УГЛЕВОДОВ И ЛИПИДОВ

Обмен веществ – основное свойство живых организмов. У всех организмов, от самых примитивных до самого сложного – человеческого организма, обмен веществ и энергии – основа жизни. В организме животных, в его органах, тканях, клетках идет непрерывный процесс соиздания, образования сложных веществ из более простых. Одновременно с этим происходит распад, окисление сложных органических веществ, входящих в состав клеток организма. Работа органов сопровождается непрерывным их обновлением: одни клетки погибают, другие их заменяют. Рост, обновление клеток организма возможны только в том случае, если в организм непрерывно поступают кислород и питательные вещества. Питательные вещества – тот строительный материал, из которого строится организм. Для построения новых клеток организма, их непрерывного обновления, для работы таких органов, как

сердце, желудочно-кишечный тракт, дыхательный аппарат, почки и т. д., а также совершения работы нужна энергия. Эту энергию организм получает при распаде и окислении в процессе обмена веществ. Таким образом, питательные вещества, поступающие в организм, служат не только пластическим строительным материалом, но и источником энергии, так необходимой для жизни.

Под **обменом веществ и энергии** (метаболизмом) понимают совокупность протекающих в живых организмах биохимических превращений веществ и энергии, а также обмен веществами и энергией с окружающей средой. Обмен веществ представляет собой единство двух процессов – анаболизма и катаболизма. В результате процессов *анаболизма* сравнительно простые вещества, поступая в клетки, подвергаются химическим превращениям с участием ферментов и превращаются в вещества самого организма. *Катаболизм* – распад сложных органических веществ, входящих в состав клеток организма. Часть продуктов распада вновь используется организмом либо выводится наружу. Процесс катаболизма также идет при участии ферментов. В результате процессов катаболизма высвобождается энергия. Именно за счет этой энергии строятся новые клетки, обновляются старые, работает сердце, совершается физическая работа. Процессы анаболизма и катаболизма неотделимы друг от друга. При усилении процессов анаболизма, особенно при росте молодого организма, значительно усиливаются и процессы катаболизма.

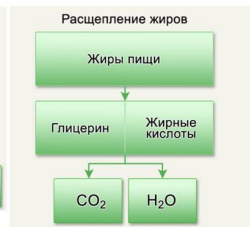
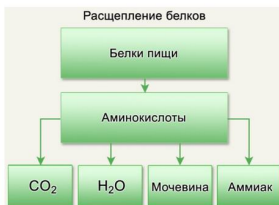
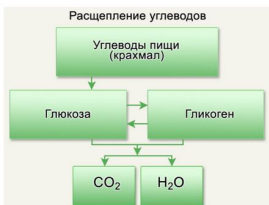
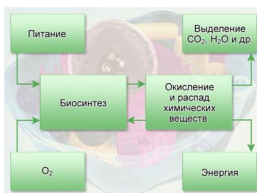
Обмен веществ складывается из химических превращений различных по природе веществ. Но можно назвать несколько общих направлений метаболизма: генерация энергии и восстановленных эквивалентов, образование строительных блоков для биосинтеза.

Углеводы в организме могут синтезироваться из жиров. Этот процесс имеет особое значение для животных, которые впадают в зимнюю спячку. Запасы жира у них к моменту спячки достигают 50 % общей массы. Под влиянием клеточных липаз жир гидролизуется. Глицерин окисляется в глицериновый альдегид, который фосфорилируется и может служить источником образования глюкозы и гликогена. Из высших жирных кислот при  $\beta$ -окислении образуется ацетил-КоА, из него – другие вещества. Из глюкозы образуется гликоген. Углеводы служат источником образования жиров. При откорме свиньи за 3 месяца из углеводов может образовываться до 22 кг жира. Следующим звеном в переходе углевода в жиры служит ацетил-КоА. Глицерин образуется из 3-фосфоглицеринового альдегида или фосфодиоксиацетона. Высшие жирные кислоты синтезируются из ацетил-КоА.

В дальнейшем из глицерина и ВЖК синтезируется молекула нейтрального жира.



### Взаимосвязь обмена белков и углеводов



Главным посредником в обмене белков и углеводов является пировиноградная кислота. Она используется в тканях для биосинтеза аминокислот – аланина, валина и лейцина (ключевым продуктом обмена является ацетил-КоА, из которого могут образовываться аланин, фенилаланин, тирозин, триптофан, гистидин и др.). При ее карбоксилировании образуется щавелевоуксусная кислота, из которой образуются аспарагиновая кислота, треонин, метионин, изолейцин и лизин. В ходе функционирования цикла трикарбоновых кислот возникает  $\alpha$ -кетоглутаровая кислота, которая дает глутаминовую и т. д.

Предшественник пировиноградной кислоты – 3-фосфоглицериновая кислота – представляет исходное соединение для синтеза серина, глицина, цистина и цистеина.

Возможен и обратный процесс. Аминокислоты содержат в своем составе трехуглеродный скелет, из которого в процессе распада возникает пировиноградная кислота или ее производные. Таким образом, большинство аминокислот в организме может служить источником для образования пировиноградной кислоты. От последней несложен переход к углеводам.

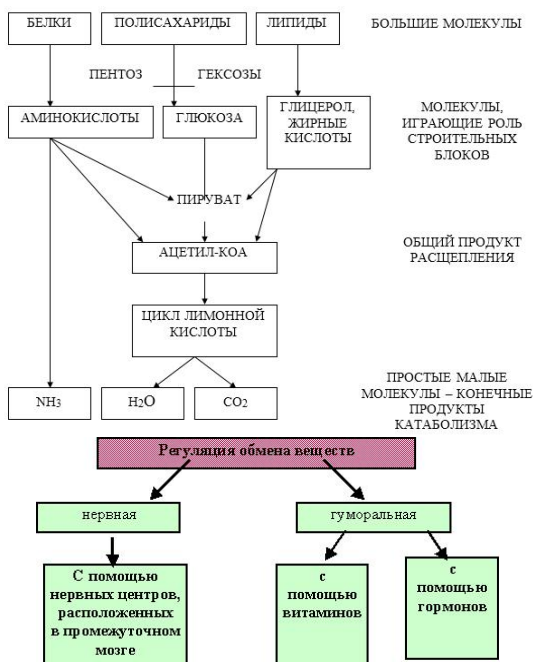
Между углеводным и белковым обменами существует взаимосвязь через общие метаболические пути превращения.

### **Взаимосвязь обмена белков и липидов**

Основным продуктом распада липидов, в частности высших жирных кислот (ВЖК), возникающих при гидролизе глицеридов, фосфолипидов, стеридов, является ацетил-КоА. Включаясь в цикл трикарбоновых кислот, он обеспечивает синтез  $\alpha$ -кетоглутаровой кислоты. Ацетил-КоА служит для воспроизводства в организме щавелевоуксусной, а из нее пировиноградной кислоты. Из обеих кетокислот также синтезируются аминокислоты в реакциях трансаминирования и восстановительного аминирования. Обмен глицерина, освобожденного при гидролизе глицеридов, через углеводы ведет к синтезу аминокислот гистидина, фенилаланина, тирозина и триптофана.

За счет распада белков возможен синтез липидов. При распаде аминокислот образуется пировиноградная кислота. При ее окислительном декарбоксилировании возникает ацетил-КоА – исходное вещество для синтеза ВЖК. Пировиноградная кислота может также пре-

вернуться в фосфоглицерин в результате обращения реакции распада углеводов.



## ЗАДАНИЯ И УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

Выяснение обменных процессов в организме животных, птиц и рыб позволит выработать приемы регулирования, интенсивного выращивания, использования биологического объекта. Это связано с тем, что продуктивные и племенные качества обуславливаются уровнем биохимических процессов в организме. В связи с этим возрастает значимость изучения органической и биологической химии, так как индивидуальные характеристики животных, птиц и рыб по взаимосвязи хозяйственных показателей с уровнем в организме (например, в крови) тех или иных органических соединений могут быть использованы как тесты для прогнозирования их продуктивности. Это, в свою очередь, позволит вести эффективную и целенаправленную селекционную работу.

Приступая к изучению дисциплины, целесообразно вначале ознакомиться с программой, а затем с материалом, изложенным в учебнике. Для основательного освоения материала рекомендуется конспектировать отдельные положения, формулировки, выводы и тренироваться в написании строения формул органических веществ и уравнений реакций.

Органическая химия является фундаментом для последующего освоения материала по биохимии. Поэтому, чтобы приобрести знания по биологической химии, студенту, прежде всего, необходимо хорошо знать теоретические основы органической химии, строение и свойства органических соединений.

Знание строения и химических свойств органических веществ, механизмов основных реакций (гидролиза, гидратации, гидрирования, дегидрирования, этерификации и т. д.) позволяет более полно понять и осмыслить биологическое значение этих реакций и превращение веществ в метаболизме.

Изучаемые по биохимии темы имеют профессиональную направленность, что помогает сформировать у студентов биологическое мышление и позволяет получить базовые знания для освоения дисциплин профессионального цикла: кормления, разведения сельскохозяйственных животных, ветеринарии, зооигиены. Биологическую химию условно делят на три части – статическую, динамическую, функциональную. Согласно программе статическая биохимия изучает строение, физико-химические свойства и превращение в живом организме витаминов, ферментов и гормонов. Динамическая химия рассматривает вопросы обмена веществ между окружающим миром и живым организмом, превращения этих веществ внутри организма. Особое внимание уделяется изучению основных путей превращения белков, жиров и углеводов, образованию ключевых метаболитов и взаимосвязи обменных отдельных веществ, процессам окисления веществ, связанным с запасанием энергии в связях макроэргических соединений. Функциональная биохимия рассматривает аспекты метаболизма, связанные с физиологическими функциями организма.

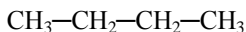
### **Методика выполнения заданий**

*Задание 1.* Рассмотрите виды изомерии органических соединений на конкретных соединениях. Назовите соединения по международной номенклатуре.

*Ответ.* Явление, при котором вещества (изомеры) имеют одинаковый химический состав, но разное строение молекул, называется изомерией. Все изомеры можно подразделить на две группы: структурные и пространственные.

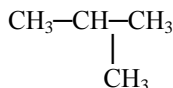
**Структурная изомерия.** Изомеры, молекулы которых отличаются порядком и кратностью соединения атомов, называются *структурными*. Структурные изомеры могут переходить друг в друга только при расщеплении и образовании новой связи между атомами в молекуле. Рассмотрим важнейшие виды структурной изомерии.

*Изомерия углеродного скелета (цепи).* Молекулы различаются строением углеродной цепи. Например:

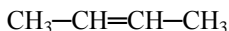


бутан

и

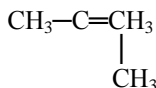


2-метилпропан (изобутан)



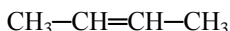
бутен-2

и



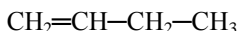
2-метилпропен

**Позиционная изомерия.** Молекулы веществ различаются положением кратных связей (двойной, тройной) или иной функциональной группы. Например:



бутен-2

и



бутен-1



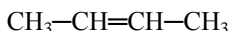
пропанол-1

и



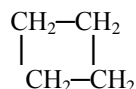
пропанол-2

**Межклассовая изомерия.** Это наиболее распространенный вид изомерии. Молекулы межклассовых изомеров принадлежат к разным классам органических соединений. Например:

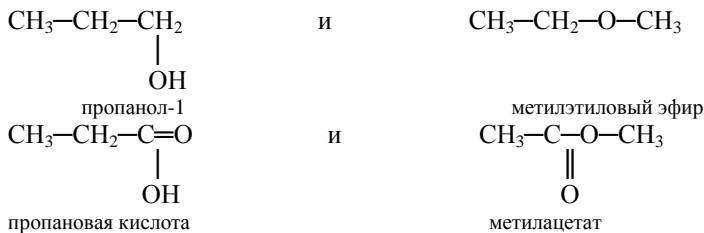


бутен-2

и



циклобутан

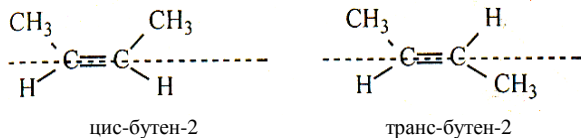


**Пространственная изомерия.** Изомеры, имеющие одинаковую молекулярную формулу, но различающиеся расположением атомов в пространстве, называются пространственными, или стереоизомерами.

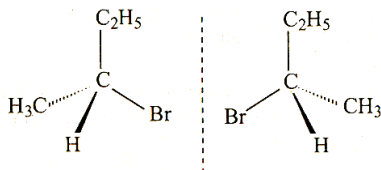
**Конфигурационная изомерия.** Молекулы конфигурационных изомеров имеют устойчивое расположение атомов или групп атомов в пространстве. Они не переходят друг в друга при вращении вокруг простых связей. Различают два вида конфигурационной изомерии: *геометрическую* и *оптическую*.

*Геометрическая изомерия* может иметь место, если молекула содержит двойную связь или цикл.

Для обозначения геометрических изомеров используется цис-транс-номенклатура. Конфигурацию двойной связи, у которой одинаковые заместители расположены по одну сторону от линии двойной связи, обозначают префиксом *цис-*, а его изомера – *транс-*:

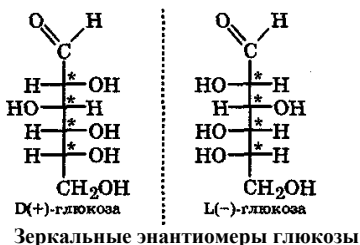


**Оптическая изомерия.** Простейшим случаем существования оптических изомеров является несовпадение двух молекул, относящихся друг к другу как предмет и его зеркальное отражение. Например:



Для обозначения оптических изомеров используется *D-*, *L-*номенклатура, где в качестве стандарта взяты оптические изомеры глицери-

нового альдегида. Конфигурацию одного из изомеров обозначили буквой *D*, а второго – *L*. Альдозы и кетозы содержат асимметрические атомы углерода. Для них характерно большое количество стереоизомеров ( $2n^2$ , где  $n$  – число асимметрических атомов). Например, альдогексозы имеют четыре асимметрических атома углерода. Существует восемь различных альдогексоз. Каждая из них имеет два оптических изомера. Таким образом, общее количество изомеров альдогексоз насчитывает 16. Наиболее важными из них являются два оптических изомера глюкозы. Символы *D* и *L* указывают конфигурацию гидроксильной группы, присоединенной к атому  $C_5$ .



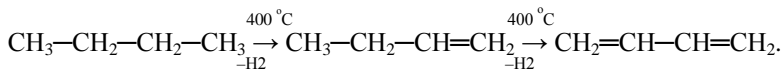
Традиционно *D*-, *L*-номенклатура используется в рядах аминокислот, оксикислот, углеводов.

**Задание 2.** Опишите общие способы получения диеновых углеводородов. Напишите соответствующие реакции. Назовите все вещества, участвующие в них.

**Ответ.** Общие способы получения диеновых углеводородов.

*Получение бутадиена-1,3.*

1. Дегидрирование бутана над медно-хромовыми катализаторами:

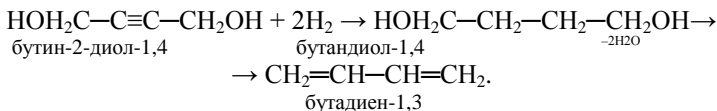


бутан

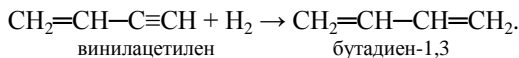
бутен-1

бутадиен-1,3

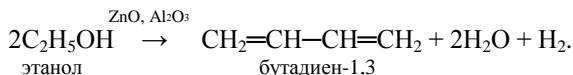
2. Восстановление и последующая дегидратация бутин-2-диола-1,4:



3. Осторожное гидрирование винилацетилена над железным катализатором:

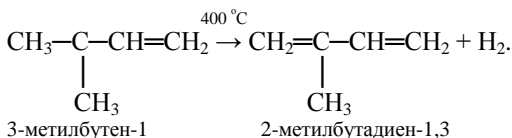


4. Синтез (по Лебедеву) из этилового спирта над оксидными катализаторами, содержащими Zn, Mg, Al:



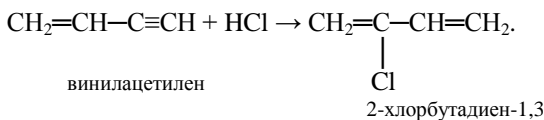
*Получение изопрена (2-метилбутадиена-1,3).*

Дегидрирование 3-метилбутена-1 над медно-хромовыми катализаторами:



*Получение хлоропрена (2-хлорбутадиена-1,3).*

Присоединение хлороводорода к винилацетилену:



*Задание 3.* Охарактеризуйте молекулу бензола с точки зрения электронного строения. Приведите графические формулы, которые применяются для бензола.

*Ответ.* Ароматические углеводороды (арены) – это углеводороды, в молекулах которых имеется одно или несколько бензольных колец с насыщенными или ненасыщенными радикалами.

Простейшим представителем ароматических углеводородов является бензол  $\text{C}_6\text{H}_6$ . Впервые формулу, отражающую строение его молекулы, предложил А. В. Кекуле в 1865 году. Рассмотрим современные представления о строении молекулы бензола. Все атомы углерода в составе его молекулы находятся в состоянии  $sp^2$ -гибридизации. Каждый из них образует три  $\sigma$ -связи, двумя из которых он связан с двумя другими атомами углерода, третьей – с атомом водорода. Углы связей равны  $120^\circ$ . Все атомы, образующие молекулу бензола, находятся в одной плоскости. Негибридные  $p$ -орбитали расположены перпендикулярно плоскости молекулы. При этом каждая  $p$ -орбиталь

перекрывается с двумя соседними  $p$ -орбиталями, в результате образуется общая  $\pi$ -система. Цикл из шести атомов углерода, связанных шестью  $\sigma$ -связями и  $\pi$ -системой, образованной в результате перекрывания шести  $p$ -электронов, называется бензольным кольцом.

Все связи между атомами углерода в молекуле бензола одинаковы, их длина составляет 0,140 нм, т. е. они короче одинарных (0,154 нм), но длиннее двойных (0,133 нм) связей. В соответствии с современными представлениями о строении молекулы бензола его структурную формулу изображают так:



В некоторых случаях допустимо и такое изображение структурной формулы бензола:



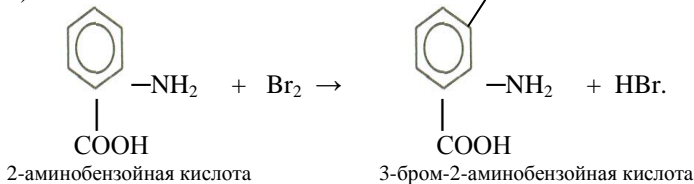
Общая формула для гомологов бензола имеет вид  $C_nH_{2n-6}$ , где  $n \geq 6$ . Гомологи бензола можно рассматривать как его производные. Гомолог бензола – метилбензол (толуол) имеет формулы  $C_6H_5CH_3$  или  $C_7H_8$ :

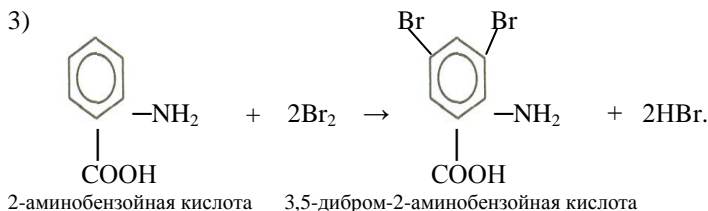
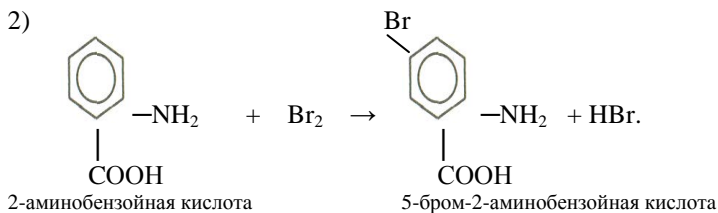


**Задание 4.** При действии бромной воды на антралиловую (2-аминобензойную кислоту) получена смесь моно- и дибромпроизводных. Напишите структурные формулы.

*Ответ.*

1)





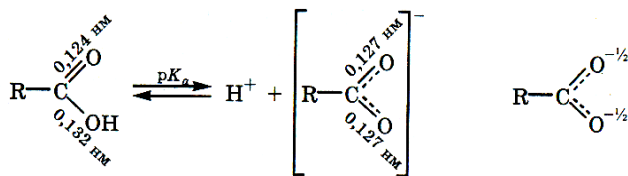
Все изомеры получены в результате согласованной ориентации заместителей (орто-, пара-NH<sub>2</sub> и мета-COOH).

*Задание 5.* Исходя из электронного строения функциональной группы и характера углеводородного радикала сравните силу предельных одноосновных карбоновых кислот.

*Ответ.* Для карбоновых кислот и их производных характерна разнообразная реакционная способность, обусловленная присутствием в молекулах карбоксильной группы. В карбоксильной группе имеются полярные ковалентные связи: между ее углеродным и кислородным атомами (C=O, C–O), а также связь O–H. При этом связь C=O длиннее, чем в кетонах, а связь C–O короче, чем в спиртах, что обусловлено взаимодействием неподеленной пары кислородного атома гидроксильной группы с π-электронами карбонильной группы, т. е. электронодонорным эффектом сопряжения (+M). В результате этого эффекта увеличивается полярность связи O–H и снижается частичный положительный заряд δ+ на карбонильном углеродном атоме по сравнению с другими карбонильными соединениями (альдегидами и кетонами). Соответственно и связанный с карбоксильной группой COOH-кислотный центр является более слабым, чем аналогичный центр в альдегидах и кетонах. В отличие от альдегидов и кетонов, для которых характерны реакции нуклеофильного присоединения по кратной связи карбонильной группы, карбоновые кислоты и их производные обычно вступают в реакции нуклеофильного замещения по их электрофильным центрам, часто сопровождаемые кислотно-основными и окислительно-восстановительными превращениями.

Атом водорода, связанный с  $\alpha$ -углеродным атомом цепи, также чувствителен к атаке свободными радикалами, что может приводить к гомолитическому разрыву разных связей и даже вызывать реакции декарбоксилирования или декарбонилирования (отщепления  $\text{CO}_2$  или  $\text{CO}$  соответственно). Таким образом, карбоновые кислоты и их производные могут взаимодействовать с нуклеофилами, электрофилами или радикальными частицами в зависимости от свойств реагентов и условий проведения реакции.

Карбоновые кислоты вследствие большой полярности и поляризуемости связи  $\text{O}-\text{H}$  проявляют кислотные свойства, что отражается в их названии. В водных растворах происходит диссоциация этой связи с образованием гидратированных частиц: протона и аниона, называемого карбоксилат-анионом:



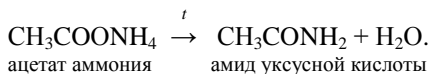
В карбоксилат-анионе отрицательный заряд равномерно распределяется между обоими кислородными атомами из-за делокализации электронной плотности в сопряженной системе, что увеличивает стабильность этой частицы. Сила карбоновых кислот зависит от природы заместителей в углеводородном радикале и от стабильности образующегося аниона. Так, электронодонорные заместители (+I-эффект) ослабляют кислотные свойства, потому что уменьшают частичный положительный заряд на углеродном атоме карбоксильной группы (ср.  $\text{p}K_a$   $\text{HCOOH}$  и  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ). Электроноакцепторные заместители (-I-эффект), оттягивая на себя электронную плотность, способствуют усилению кислотности карбоновых кислот, так как одновременно увеличивают частичный положительный заряд на углеродном атоме карбоксильной группы и стабилизируют карбоксилат-анион из-за большей делокализации отрицательного заряда. Кислотные свойства карбоновых кислот увеличиваются в ряду



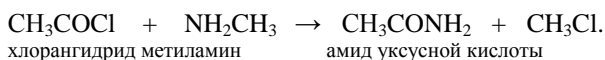
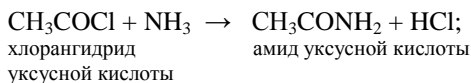
Карбоновые кислоты являются более сильными кислотами, чем угольная кислота. Поэтому с их помощью можно выделять угольную кислоту из карбонатов.



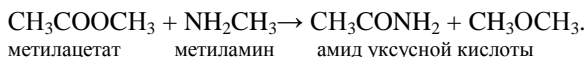
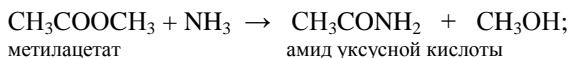
2. В жестких условиях амиды образуются при дегидратации аммониевых солей карбоновых кислот при нагревании:



3. Амиды кислот образуются при взаимодействии хлорангидридов кислот с аммиаком и его производными:



4. Эффективным способом является получение амидов из эфиров карбоновых кислот с растворами аммиака или аминов при комнатной температуре:



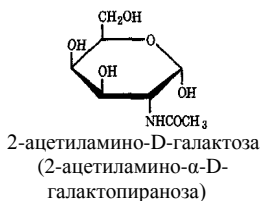
*Задание 8.* Характеристика гликозаминов. Покажите строение гиалуриновой кислоты. Объясните свойства, биологическую роль.

*Ответ.* Гликозаминогликаны – группа кислых гетерополисахаридов – в качестве структурных элементов протеогликанов являются важным компонентом межклеточного матрикса. В качестве типовых структурных блоков гликозаминогликаны содержат аминоксахара, такие, как глюкоуроновая или идуроновая кислоты. Большинство полисахаридов этой группы в различной степени этерифицировано остатками серной кислоты, которые усиливают их кислотные свойства. Гликозаминогликаны присутствуют в организме позвоночных как в свободном виде, так и в составе протеогликанов.

Аминосакхара (гликозамины) – моносахариды, содержащие NH<sub>2</sub>-группы вместо одной или нескольких OH-групп. В зависимости от положения аминогруппы различают 2-амино-, 4-амино-, 2,6-диамино-сахара. В природе наиболее распространены 2-аминоглюкоза и 2-аминогалактоза. Они встречаются в животных организмах и растениях в виде N-ацетилпроизводных, являющихся структурными компонентами гетерополисахаридов – хитина, гепари-

на, гиалуроновой кислоты и др. Для аминоксахаров характерны свойства как моносахаридов, так и аминов.

Гиалуроновая кислота – относительно простой неэтерифицированный гликозаминогликан – построена из дисахаридных звеньев, состоящих из *N*-ацетилглюкозамина и глюкуроновой кислоты, соединенных в положении  $\beta(1\rightarrow3)$ . Повторяющиеся звенья связаны в положении  $\beta(1\rightarrow4)$ . Благодаря присутствию  $\beta(1\rightarrow3)$ -связей молекула гиалуроновой кислоты, насчитывающая несколько тысяч моносахаридных остатков, принимает конформацию спирали. На один виток спирали приходится три дисахаридных блока. Локализованные на внешней стороне спирали гидрофильные карбоксильные группы остатков глюкуроновой кислоты могут связывать ионы  $\text{Ca}^{2+}$ . За счет сильной гидратации этих групп гиалуроновая кислота и другие гликозаминогликаны при образовании гелей связывают 10 000-кратный объем воды. Гиалуроновая кислота выполняет функцию стабилизатора геля в стекловидном теле глаза, которое содержит всего 1 % гиалуроновой кислоты и на 98 % состоит из воды.



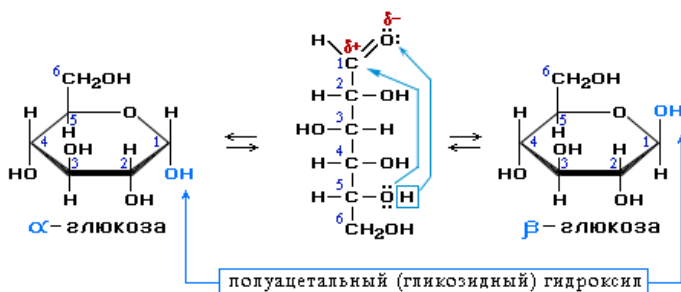
Многие белки внешней стороны плазматических мембран и большинство секретируемых белков содержат олигосахаридные цепи, которые синтезируются в процессе посттрансляционной модификации в эндоплазматическом ретикулуме и аппарате Гольджи. Цитоплазматические белки, напротив, редко бывают гликозилированы. Гликопротеины могут содержать до 50 % углеводов, но, как правило, в молекуле преобладает белковая часть.

Протеогликаны – одни из наиболее крупных молекул; они включают белковую (5 %) и углеводную (95 %) составляющие и по форме напоминают ершик для мытья бутылок. Белковые мономеры, несущие множество полисахаридных цепей, ассоциированы с осевой молекулой гиалуроновой кислоты. Полисахариды, обнаруженные в протеогликанах, обычно содержат ацетилированные аминоксахара и, следовательно, относятся к гликозаминогликанам.

**Задание 9.** Цикло-цепная таутомерия моносахаридов.

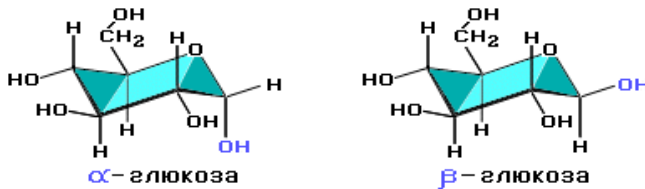
**Ответ.** Реакция присоединения спирта к альдегиду внутри одной молекулы сопровождается ее циклизацией, т. е. образованием циклического полуацетала. Известно, что наиболее устойчивыми являются пяти- и шестичленные циклы. Поэтому, как правило, происходит взаимодействие карбонильной группы с гидроксилом при 4-м или 5-м углеродном атоме (нумерация начинается с карбонильного углерода или ближайшего к нему конца цепи). Таким образом, в результате взаимодействия карбонильной группы с одной из гидроксильных моносахариды могут существовать в двух формах: линейной (оксо-форме) и циклической (полуацетальной).

В растворах моносахаридов эти формы находятся в равновесии друг с другом. Например, в водном растворе глюкозы существуют следующие структуры:

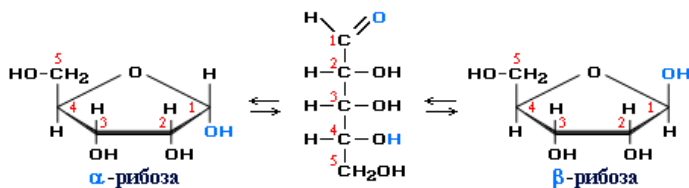


Циклические  $\alpha$ - и  $\beta$ -формы глюкозы представляют собой пространственные изомеры, отличающиеся положением полуацетального гидроксильного атома относительно плоскости кольца. В  $\alpha$ -глюкозе этот гидроксил находится в *цис*-положении к гидроксильной группе при  $\text{C}_2$ , в  $\beta$ -глюкозе – в *транс*-положении.

С учетом пространственного строения шестичленного цикла формулы этих изомеров имеют следующий вид:



Аналогичные процессы происходят и в растворе рибозы:



В кристаллическом состоянии моносахариды имеют циклическое строение.

*Задание 10.* Цветные реакции белков.

*Ответ.* 1. Биуретовая реакция белков. Раствор белка со щелочным раствором сульфата меди дает красно-фиолетовое или синефиолетовое окрашивание. Биуретовая реакция обусловлена наличием в молекулах белка пептидных групп  $-\text{CO}-\text{NH}-$ . Ионы  $\text{Cu}^{2+}$  образуют комплекс с енолизированными пептидными группами белка, Окраска растворов белка при образовании медного комплекса в случае биуретовой реакции может быть от синей до красной с преобладанием фиолетовой.

2. Нингидриновая реакция белков. Раствор белка с 1%-м раствором нингидрина в 95%-м растворе ацетона медленно приобретает синефиолетовый (или желтовато-фиолетовый) оттенок, свидетельствующий о присутствии аминокислот, содержащих  $\alpha$ -аминогруппы. Нингидриновая реакция является одной из наиболее чувствительных для обнаружения  $\alpha$ -аминогруппы. В результате взаимодействия  $\alpha$ -аминогруппы аминокислоты или белка с нингидрином возникает Шиффово основание. Затем оно претерпевает перегруппировку, декарбоксилируется и расщепляется на альдегид и аминокетогидриндамин.

3. Ксантопротеиновая реакция. Смесь раствора белка и концентрированной азотной кислоты в пробирке нагревают до кипения и кипятят около 2 мин. При нагревании раствор и осадок окрашиваются в ярко-желтый цвет, при этом осадок может полностью раствориться в результате гидролиза. Смесь охлаждают и осторожно (по стенке пробирки) приливают избыток концентрированного раствора аммиака или щелочи до щелочной реакции. Выпадающий вначале осадок кислотного альбумината растворяется, и жидкость окрашивается в ярко-оранжевый цвет.

Ксантопротеиновая реакция происходит только при наличии в белках остатков ароматических аминокислот (фенилаланина, тирозина и триптофана). Желтоокрашенные нитросоединения образуются в результате нитрования ароматических радикалов этих аминокислот азот-

ной кислотой. Изменение желтой окраски в оранжевую в щелочной среде обусловлено появлением хромофорной группы.

4. Реакция Паули. Реакцию Паули дают белки, содержащие в белковой молекуле остатки гистидина и тирозина. Раствор белка с 1%-м раствором сульфаниловой кислоты в 5%-м растворе соляной кислоты при добавлении 0,5%-го раствора  $\text{NaNO}_2$  и 10%-го раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  дает вишнево-красное окрашивание.

5. Нитропруссидная реакция белков. Раствор белка с насыщенным раствором сульфата аммония и 5%-м раствором нитропруссид натрия в щелочной среде образует красно-пурпурное окрашивание. Это доказывает, что в состав белка входит аминокислота цистеин. Нитропруссид натрия с серосодержащими органическими соединениями в щелочной среде образует комплексное соединение.

6. Реакция на серу в белках. К раствору белка приливают 30%-й раствор едкого натра и несколько капель уксуснокислого свинца. При наличии в молекулах белка аминокислот, содержащих серу (цистеин, цистин, метионин), отщепляется сера в виде ионов  $\text{S}^{2-}$ , которые образуют с солями свинца черный осадок.

*Задание 11.* Классификация витаминов.

*Ответ.* Витамины делят на две большие группы: витамины, растворимые в жирах, и витамины, растворимые в воде. Каждая из этих групп содержит большое количество различных витаминов, которые обычно обозначают буквами латинского алфавита. Следует обратить внимание на то, что порядок этих букв не соответствует их обычному расположению в алфавите и не вполне отвечает исторической последовательности открытия витаминов.

В приводимой классификации витаминов в скобках указаны наиболее характерные биологические свойства данного витамина – его способность предотвращать развитие того или иного заболевания. Обычно названию заболевания предшествует приставка *анти-*, указывающая на то, что данный витамин предупреждает или устраняет это заболевание.

*Витамины, растворимые в жирах.*

Витамин А (антиксерофтальмический).

Витамин D (антирахитический).

Витамин Е (витамин размножения).

Витамин К (антигеморрагический).

*Витамины, растворимые в воде.*

Витамин В<sub>1</sub> (антиневритный).

Витамин В<sub>2</sub> (рибофлавин).  
Витамин РР (антипеллагрический).  
Витамин В<sub>6</sub> (антидермитный).  
Пантотен (антидерматитный фактор).  
Биотин (витамин Н, фактор роста для грибов, дрожжей и бактерий, антисеборейный).

Инозит. Парааминобензойная кислота (фактор роста бактерий и фактор пигментации).

Фолиевая кислота (антианемический витамин, витамин роста для цыплят и бактерий).

Витамин В<sub>12</sub> (антианемический витамин).

Витамин В<sub>15</sub> (пангамовая кислота).

Витамин С (антискорбутный).

Витамин Р (витамин проницаемости).

*Задание 12.* Роль витаминов в зоотехнической практике.

*Ответ.* Основным источником витаминов для животных являются корма растительного и животного происхождения. Однако некоторые витамины животные при известных условиях могут синтезировать в организме из физиологически недействительных провитаминов. В кормах растительного происхождения витамины содержатся в неодинаковом количестве и в разных соотношениях. В связи с этим в кормовые рационы сельскохозяйственных животных и птицы необходимо включать корма в таком соотношении, чтобы можно было бы обеспечить их полноценность. В противном случае необходимо включать в рацион витамины.

Недостаток витаминов в организме животных, по данным В. М. Холода, вызывается рядом причин. Они могут быть самыми различными: недостаток витаминов в рационе, нарушение их обмена в организме, нарушение биосинтеза или всасывания в пищевом тракте, различные заболевания, применение некоторых лекарственных веществ, высокая продуктивность животного и др.

Недостаток или избыток поступления витаминов с пищей приводит к развитию авитаминоза, гиповитаминоза и гипервитаминоза. Авитаминоз развивается при длительной недостаточности витамина. При частичной недостаточности витамина наблюдается гиповитаминоз. Различают пищевой и эндогенный авитаминозы. Пищевой связан с недостаточным поступлением витаминов с пищей. В случае эндогенного авитаминоза витамины с пищей поступают в достаточных количествах. Совместная недостаточность нескольких витаминов называется полиавитаминозом. Избыточное поступление витамина с пищей может привести также к нежелательному состоянию – гипервитаминозу.

Большой вклад в разработку теории и практики витаминного питания в животноводстве внесли В. Н. Букин, Н. И. Берзинь, А. Р. Вальдман, П. И. Викторов, В. М. Голушко, И. И. Горячев, Л. М. Двинская, А. А. Дмитриевский, И. А. Ионов, Н. Т. Маслиев, И. Г. Пивняк, Н. В. Редько, К. М. Солнцев, И. С. Серяков, П. Ф. Сурай, И. Ф. Ткачев, М. В. Шалак и другие ученые.

Быстрое развитие науки о витаминах объясняется, прежде всего, практической значимостью этих веществ, их широким внедрением в практику животноводства. Другими словами, витамины в настоящее время вышли далеко за пределы медицины и ветеринарии, они оказались необходимыми в животноводстве для сохранения молодняка сельскохозяйственных животных от падежа, для повышения интенсивности его роста.

Характеризуя витаминологию, В. Н. Букин указывал, что учение о витаминах явилось самым значимым, самым разительным явлением, имеющим большое теоретическое и практическое значение. Это учение не отрицает прежнего положения, которое заключается в том, что удовлетворение энергетических потребностей является необходимым условием существования организма, но с полной несомненностью показывает, что минимальное количество витаминов играет колоссальную роль в обмене веществ, а их недостаток выводит из равновесия нормальное функционирование организма.

В современном животноводстве на протяжении десятилетий преследовались в первую очередь хозяйственные цели. Интересы народного хозяйства всех стран требуют повышения продуктивности животноводства при одновременном снижении стоимости продукции за счет введения современной технологии и, следовательно, через соответствующие мероприятия по кормлению.

Связанный с повышением уровня продуктивности повышенный обмен веществ представляет сильную нагрузку на весь организм. Чтобы при этом предотвратить или хотя бы снизить до минимума нарушение здоровья, необходимо повысить потребление низкокалорийных, но ценных в другом отношении веществ. К ним, наряду с незаменимыми аминокислотами, относятся, прежде всего, жирорастворимые витамины и ряд неорганических соединений. По мнению Э. Д. Визнера, все эти вещества должны поступать в организм не только в определенном количестве, но и в определенной пропорции друг к другу и к основным питательным веществам. Установлено, что поступающие в организм вещества – белки, жиры, углеводы, микро- и макроэлементы

сами по себе являются соединениями инертными, безжизненными. Чтобы превратиться в ткани тела, эти вещества должны подвергнуться глубокому химическим изменениям, которые осуществляются при обязательном участии биологических катализаторов. Такими катализаторами являются белки-ферменты. Они в миллионы раз ускоряют химические реакции. Для образования ферментов в клетках необходимы витамины, которые ускоряют реакции превращения белков, жиров и углеводов пищи в такие же вещества тела.

В настоящее время доказано, что витамины организм животных не синтезирует или синтезирует в недостаточном количестве, поэтому они должны поступать с пищей в готовом виде в малых количествах для поддержания жизненно важных функций организма.

По мнению А. И. Петенко, витамины не являются пластическим материалом и не служат источником энергии, однако необходимы для всех жизненных процессов, и их биохимическая сущность сводится к катализу реакций дегидрирования, карбоксилирования, ацетилирования, метилирования и т. д. Возникающие при недостатке витаминов явления обычно связаны не с каким-либо узко конкретным симптомом, а чаще с поражением клеток в целом и охватывают ряд жизненных функций организма из-за нарушения синтеза белка в клетках. Однако в связи с участием конкретных витаминов в отдельных ферментных системах их отсутствие вызывает и специфические для каждого из них реакции.

Витамины также играют роль катализаторов и способствуют усвоению питательных веществ, превращению их в необходимые для жизнедеятельности организма соединения, стимулируют деятельность желез внутренней секреции и функции различных органов.

В. Н. Букин отмечает, что, будучи вплетенными в сложную сеть обменных реакций, витамины оказывают воздействие на разнообразные физиологические процессы. Они влияют на рост, развитие, функции половой системы, деятельность кровяных органов и органов чувств, явления иммунитета. Все эти разнообразные и коренные по своей значимости стороны жизнедеятельности теснейшим образом связаны с витаминами.

*Задание 13.* Понятие кофактор. Соединения, выступающие в роли кофакторов. Приведите примеры.

*Ответ.* Относительная молекулярная масса ферментов может колебаться от  $10^4$  до  $10^6$  и более. Ферменты – это, как правило, глобулярные белки. Одни ферменты являются простыми белками и состоят только из аминокислотных остатков (рибонуклеаза, пепсин, трипсин),

активность других зависит от наличия в их составе дополнительных химических компонентов, так называемых кофакторов. В качестве кофакторов могут выступать ионы металлов  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  или сложные органические вещества – коферменты. В состав многих из них входят витамины.

Коферменты могут выполнять следующие функции:

- а) участие в катализе;
- б) осуществление взаимодействия между субстратом и ферментом;
- в) стабилизация фермента.

Превращаемые вещества называются субстратами. Превращение субстрата происходит в области активного центра, который сформирован в третичной структуре большинства ферментов. У простых белков ферментов активный центр образован сближенными в пространстве радикалами аминокислот первичной структуры. У сложных белков ферментов здесь находятся кофакторы. В активном центре выделяют две части: якорная (радикалы аминокислот обеспечивают фиксацию субстрата) и каталитическая (радикалы аминокислот и кофакторы обеспечивают катализ). Помимо активного центра в молекуле фермента присутствует еще и аллостерический центр. Он представляет собой участок молекулы фермента, с которым связываются определенные, как правило, низкомолекулярные вещества (модификаторы), молекулы которых не сходны по строению с субстратом.

Для названий ферментов используется тривиальная, рациональная и систематическая номенклатура. Тривиальные названия следует просто запоминать. Они употребимы для ограниченного числа ферментов (пепсин, трипсин, химотрипсин и т. д.). Чаще используется рациональная номенклатура, согласно которой название фермента составляют из корня латинского названия субстрата с прибавлением суффикса *-аза*. Например, каталитическое расщепление дисахарида мальтозы осуществляет фермент мальтаза, сахарозы – сахараза, крахмала (по латыни амилум) – амилаза и т. д. Иногда в таком названии фермента может быть отражен тип катализируемой реакции. Например, лактатдегидрогеназа (де – отнимаю, гидро – водород), пируватдекарбоксилаза (де – отнимаю, карбоксил – карбоксильную группу) и т. д. Достоинство этой номенклатуры – краткость, недостаток – ограниченная информация о субстрате и типе химической реакции.

*Задание 14.* Специфичность действия ферментов.

*Ответ.* В отличие от катализаторов неорганической природы ферменты обладают высокой специфичностью действия. Каждый данный фермент катализирует лишь определенную химическую реакцию, т. е.

действует на вполне определенное вещество или на вполне определенный тип химической связи, обеспечивая строгую согласованность работы аппарата живой клетки.

Являясь катализаторами – веществами, ускоряющими реакции, ферменты имеют ряд общих свойств с химическими, небиологическими катализаторами.

1. Ферменты не входят в состав конечных продуктов реакции и выходят из реакции в первоначальном виде. Они не расходуются в процессе катализа.

2. Ферменты не могут возбудить реакций, противоречащих законам термодинамики, они ускоряют только те реакции, которые могут протекать и без них.

3. Ферменты, как правило, не смещают положения равновесия реакции, а лишь ускоряют его достижение.

Скорость реакции – это изменение концентрации компонентов реакции в единицу времени. Если она идет в прямом направлении, то пропорциональна концентрации реагирующих веществ, если в обратном – то пропорциональна концентрации продуктов реакции. Отношение скоростей прямой и обратной реакций называется константой равновесия. Ферменты не могут изменять величины константы равновесия, но состояние равновесия в присутствии ферментов наступает быстрее.

Для ферментов характерны и специфические свойства, отличающие их от химических катализаторов, выражающих их биологическую природу.

1. По химическому строению молекулы все ферменты являются белками.

2. Эффективность ферментов выше, чем небиологических катализаторов (скорость протекания реакции при участии фермента на несколько порядков выше, чем при участии химических катализаторов).

3. Одним из важнейших свойств ферментов как биокатализаторов является их регулируемость. Через регуляцию ферментативного аппарата осуществляется скоординированность всех метаболических процессов во времени и пространстве, направленная на производство живой материи, поддержание постоянства внутриклеточной среды, приспособление к меняющимся внешним условиям.

4. Ферменты обладают узкой специфичностью, избирательностью действия на субстраты, т. е. на вещества, превращение которых они катализируют. В клетках организма протекает 2–3 тыс. реакций, каж-

дая из которых катализируется определенным ферментом. Специфичность действия фермента – это способность ускорять протекание одной определенной реакции, не влияя на скорость остальных, даже очень похожих.

5. Специфичность ферментов обусловлена их уникальной аминокислотной последовательностью, от которой зависит конформация активного центра, взаимодействующего с компонентами реакции.

6. При ферментативных реакциях в отличие от неферментативных наблюдаются лишь незначительные побочные процессы. Для ферментативных реакций характерен почти 100%-й выход продуктов. Эта высокая специфичность действия фермента заключена в архитектуре его молекулы. За последние годы достигнуты заметные успехи в изучении пространственного строения большого числа ферментов.

Например, используя метод рентгеноструктурного анализа, удалось определить строение и создать модель молекулы лизоцима. Лизоцим – это фермент, содержащийся в слезах, слизи из полости носа и т. д. Он способен расщеплять молекулу сложного полисахарида, входящего в состав оболочки некоторых бактерий.

## ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Какой витамин необходим для нормального зрительного акта?

- а) витамин А;
- б) токоферол;
- в) рибофлавин;
- г) холин;
- д) биотин.

2. Какой из перечисленных витаминов является одним из самых сильных природных антиоксидантов?

- а) викасол;
- б) витамин D;
- в) витамин А;
- г) витамин Е;
- д) витамин С.

3. Какой витамин обладает антиксерофтальмическим действием?

- а) витамин D;
- б) витамин К;
- в) витамин А;
- г) витамин Р;
- д) витамин С.

4. Какой витамин является составной частью кофермента, способного присоединять и отдавать водород по изоаллоксазиновому кольцу?

- а) витамин РР;
- б) рибофлавин;
- в) пиридоксамин;
- г) аскорбиновая кислота;
- д) карнитин.

5. Какой витамин принимает участие в карбоксилировании жирных кислот?

- а) тиамин;
- б) рибофлавин;
- в) биотин;
- г) пантотеновая кислота;
- д) фолиевая кислота.

6. Какой витамин синтезируется в живом организме из триптофана?

- а) никотиновая кислота;
- б) рибофлавин;
- в) пантотеновая кислота;

- г) викасол;
- д) токоферол.

7. Какой витамин входит в состав кофермента, участвующего в реакциях трансминирования и декарбоксилирования аминокислот?

- а) убихинон;
- б) витамин В<sub>6</sub>;
- в) витамин В<sub>2</sub>;
- г) витамин РР;
- д) витамин Р.

8. Какой витамин является составной частью кофермента А?

- а) парааминобензойная кислота;
- б) пиридоксин;
- в) карнитин;
- г) оротовая кислота;
- д) пантотеновая кислота.

9. Какой витамин оказывает влияние на проницаемость капилляров?

- а) никотинамид;
- б) рибофлавин;
- в) пиридоксин;
- г) рутин;
- д) пангамовая кислота.

10. Какой витамин участвует в переносе электронов и протонов при окислительном фосфорилировании?

- а) витамин С;
- б) витамин К;
- в) витамин В<sub>1</sub>;
- г) пантотеновая кислота;
- д) пангамовая кислота.

11. Отсутствие какого витамина вызывает заболевание роговицы глаза?

- а) витамина С;
- б) витамина В<sub>1</sub>;
- в) витамина А;
- г) витамина D;
- д) витамина Е?

12. Какой фермент обладает абсолютной специфичностью к субстрату?

- а) химотрипсин;
- б) папаин;
- в) уреазы;

- г) аргиназа;
- д) лизоцим.

13. Какой оптимум рН имеет фермент пепсин?

- а) 1,5–2,5;
- б) 4–5;
- в) 6–7;
- г) 8–9;
- д) 10–11.

14. Какой оптимум рН имеет фермент амилаза?

- а) 1,5–2;
- б) 7–7,5;
- в) 8–9;
- г) 3,5–4;
- д) 4,5–5.

15. При каком рН большинство ферментов проявляют максимальную активность?

- а) кислом, рН 1,5–2;
- б) щелочном, рН 8–9;
- в) близком к нейтральному;
- д) только при рН 7.

16. Для какого класса ферментов коферментом является тиаминпирофосфат?

- а) трансфераз;
- б) оксидоредуктаз;
- в) гидролаз;
- г) лиаз;
- д) лигаз.

17. Для какого класса ферментов коферментом является СоА?

- а) гидролаз;
- б) трансфераз;
- в) оксидоредуктаз;
- г) лигаз;
- д) лиаз.

18. Какие коферменты содержат витамин В<sub>12</sub>?

- а) пиридоксальные;
- б) флавиновые;
- в) кобамидные;
- г) никотинамидные;
- д) железопорфириновые.

19. Для какого класса ферментов коферментом является убихинон?

- а) оксидоредуктаз;
- б) трансфераз;
- в) гидролаз;
- г) изомераз;
- д) лиаз.

20. При какой температуре ферменты денатурируют?

- а) 0 °С;
- б) 80–100 °С;
- в) 20–30 °С;
- г) 30–40 °С;
- д) 15–20 °С.

21. Какая температура является оптимальной для действия большинства ферментов?

- а) 50–60 °С;
- б) 15–20 °С;
- в) 80–100 °С;
- г) 35–40 °С;
- д) 0–15 °С.

22. Какие коферменты содержат витамин В<sub>6</sub>?

- а) кобамидные;
- б) пиридоксальные;
- в) флавиновые;
- г) никотинамидные;
- д) железопорфириновые.

23. Для какого класса ферментов коферментом являются фосфаты углеводов?

- а) оксидоредуктаз;
- б) гидролаз;
- в) трансфераз;
- г) лиаз;
- д) изомераз.

24. В активации и переносе какой определенной группы принимает участие биотин?

- а) ацетильной;
- б) метильной;
- в) СО<sub>2</sub>;
- г) фосфорильной;
- д) аденозильной.

25. *Какие коферменты содержат витамин В<sub>1</sub>?*

- а) флавинадениндинуклеотид;
- б) тиаминпирофосфат;
- в) никотинамидадениндинуклеотид;
- г) пиродоксальфосфат;
- д) кобаламин.

26. *Какие коферменты связаны с классом ферментов оксидоредуктаз?*

- а) тиаминпирофосфат;
- б) НАД и НАДФ;
- в) ФМН и ФАД;
- г) глутатион;
- д) убихиноны.

27. *Какой гормон регулирует водный баланс и осмотическое давление плазмы крови, стимулирует сокращение гладких мышц?*

- а) пролактин;
- б) соматостатин;
- в) кортиколиберин;
- г) вазопрессин;
- д) кинины.

28. *В каких железах внутренней секреции синтезируются пептидные гормоны?*

- а) паращитовидная железа;
- б) поджелудочная железа;
- в) щитовидная железа;
- г) гипофиз;
- д) яичники.

29. *В каких железах синтезируются стероидные гормоны?*

- а) семенниках;
- б) мозговом веществе надпочечников;
- в) щитовидной;
- г) поджелудочной;
- д) коре надпочечников.

30. *Какой из гормонов обладает эстрогенным действием?*

- а) соматотропин;
- б) релаксин;
- в) телергоны;
- г) тестостерон;
- д) тиролиберин.

31. Какой гормон регулирует функцию щитовидной железы?

- а) тиролиберин;
- б) тиреокальцетонин;
- в) транскортин;
- г) тиротропин;
- д) тироксин.

32. Какие гормоны синтезируются островковой тканью поджелудочной железы?

- а) тиреоидные;
- б) вазопрессин;
- в) глюкагон;
- г) окситоцин;
- д) адренокортикотропин.

33. Какие гормоны синтезируются в околощитовидной железе?

- а) адреналин;
- б) пиридоксин;
- в) паратгормон;
- г) кальцитонин;
- д) окситоцин.

34. Возникновение сахарного диабета связано с нарушением функции одной из желез, какой именно?

- а) гипофиза;
- б) половых желез;
- в) парашитовидной железы;
- г) поджелудочной железы;
- д) тимуса.

35. Какой гормон принимает участие в регуляции обмена электролитов?

- а) тироксин;
- б) инсулин;
- в) альдестерон;
- г) кортикостерон;
- д) глюкагон.

36. Какие гормоны регулируют содержание кальция и фосфора в крови?

- а) паратгормон;
- б) кальцитонин;
- в) адренокортикотропин;
- г) тестостерон;
- д) простерон.

37. Какое заболевание возникает при разрушении коры надпочечников?

- а) кретинизм;
- б) микседема;
- в) меланотропин;
- г) болезнь Аддисона;
- д) тетания.

38. Какие гормоны пептидной природы секретируются слизистой кишечника?

- а) инсулин;
- б) гастрин;
- в) соматолиберин;
- г) секретин;
- д) фоллиберин.

39. Какой из гормонов стимулирует развитие вторичных половых признаков у особей мужского пола?

- а) тестостерон;
- б) эстрадион;
- в) андростерон;
- г) эквилин;
- д) андростендиол.

40. Какой гормон стимулирует распад гликогена печени до глюкозы, а гликогена мышц до молочной кислоты?

- а) норадреналин;
- б) глюкагон;
- в) инсулин;
- г) адреналин;
- д) эстриол.

41. Какой гормон стимулирует биосинтез гликогена и усиливает анаболические процессы?

- а) адреналин;
- б) норадреналин;
- в) холецистокенин;
- г) инсулин;
- д) тироксин.

42. Какие аминокислоты относятся к гетероциклическим?

- а) глицин;
- б) лейцин;
- в) гистидин;
- г) аланин;
- д) триптофан.

43. В состав каких аминокислот входит гидроксильная группа?
- а) аланин;
  - б) тирозин;
  - в) треонин;
  - г) метионин;
  - д) серин.
44. Какие аминокислоты содержат серу?
- а) глицин;
  - б) метионин;
  - в) аланин;
  - г) лейцин;
  - д) серин.
45. Какие из указанных соединений являются аминокислотами?
- а) креатин;
  - б) серин;
  - в) глюкоза;
  - г) ансерин;
  - д) адреналин.
46. Какой заряд имеет белок в изоэлектрической точке?
- а) положительный;
  - б) отрицательный;
  - в) электрически нейтрален;
  - г) протонный;
  - д) электронный.
47. Какие свойства не характерны для белков?
- а) амфотерность;
  - б) отсутствие способности кристаллизоваться;
  - в) отсутствие способности вращать плоскость поляризованного луча;
  - г) термостабильность;
  - д) температурный оптимум.
48. Какие вещества дают биуретовую реакцию?
- а) жиры;
  - б) глутатион;
  - в) углеводы;
  - г) белки;
  - д) спирты.
49. Под влиянием каких ферментов происходит расщепление белков в желудке?
- а) пепсиногена;
  - б) трипсина;

- в) пепсина;
- г) энтерокиназы;
- д) химозина.

50. *Какие кислоты образуются при восстановительном пути дезаминирования аминокислот?*

- а)  $\alpha$ -гидроксикислоты;
- б) предельные кислоты;
- в) непредельные кислоты;
- г)  $\alpha$ -кетокислоты;
- д) валин.

51. *Какие продукты образуются при трансминировании между аланином и  $\alpha$ -кетоглутаровой кислотой?*

- а) глутаминовая кислота и пировиноградная;
- б) аспарагиновая кислота и пировиноградная;
- в) молочная кислота и пировиноградная;
- г) глутаминовая кислота и молочная.

52. *При декарбоксилировании какой аминокислоты образуется триптомин?*

- а) аланин;
- б) триптофан;
- в) тирозин;
- г) серин;
- д) валин.

53. *Какие аминокислоты являются незаменимыми для животных?*

- а) аланин, глицин;
- б) серин, глицин;
- в) лизин, триптофан;
- г) глутамин, серин;
- д) пролин, аланин.

54. *Какое соединение является конечным продуктом азотистого обмена у птиц?*

- а) креатин;
- б) мочевины,  $\text{NH}_3$  и мочевая кислота;
- в) мочевины и мочевая кислота;
- г) мочевины и аммиак;
- д) мочевая кислота.

55. *Какой главный конечный продукт азотистого обмена у млекопитающих?*

- а) мочевая кислота;

- б) мочевины и мочевоы кислоты;
- в) мочевины и аммиак;
- г) глутамат;
- д) валин.

56. Что образуется при декарбокслировании  $\alpha$ -аланина?

- а) амин;
- б) этиламин;
- в) имин;
- г) глутамат;
- д) валин.

57. Центральным промежуточным продуктом всех обменов (белков, липидов, углеводов) являются:

- а) цитрат;
- б) сукцинил-КоА;
- в) щавелево-уксусная кислота;
- г) лактат;
- д) ацетил-КоА.

58. Какое количество молекул АТФ может синтезироваться при полном окислении ацетил-КоА в цикле трикарбоновых кислот?

- а) 12;
- б) 1;
- в) 5;
- г) 8;
- д) 3?

59. Какое вещество является основным источником энергии для мозговой ткани?

- а) аминокислоты;
- б) жирные кислоты;
- в) глицерин;
- г) глюкоза;
- д) молочная кислота.

60. Цикл Кребса играет важную роль в реализации глюкостатического эффекта аминокислот. Это обусловлено обязательным превращением безазотистых остатков аминокислот:

- а) в сукцинат;
- б) малат;
- в) оксалоацетат;
- г) фумарат;
- д) цитрат.

61. Дисахарид лактоза образован:

- а)  $\alpha$ -глюкозой и  $\alpha$ -глюкозой;
- б)  $\beta$ -глюкозой и  $\alpha$ -глюкозой;
- в)  $\beta$ -глюкозой и  $\beta$ -фруктозой;
- г)  $\beta$ -глюкозой и  $\alpha$ -глюкозой;
- д)  $\beta$ -глюкозой и  $\alpha$ -галактозой.

62. Дисахарид мальтоза образован:

- а)  $\alpha$ -глюкозой и  $\alpha$ -глюкозой;
- б)  $\beta$ -глюкозой и  $\alpha$ -глюкозой;
- в)  $\beta$ -глюкозой и  $\beta$ -глюкозой;
- г)  $\beta$ -глюкозой и  $\alpha$ -глюкозой;
- д)  $\beta$ -глюкозой и  $\alpha$ -галактозой.

63. Дисахарид целобиоза образован:

- а)  $\alpha$ -глюкозой и  $\alpha$ -глюкозой;
- б)  $\beta$ -глюкозой и  $\alpha$ -глюкозой;
- в)  $\beta$ -глюкозой и  $\beta$ -глюкозой;
- г)  $\beta$ -глюкозой и  $\alpha$ -глюкозой;
- д)  $\beta$ -глюкозой и  $\alpha$ -галактозой.

64. Дисахарид сахароза образован:

- а)  $\alpha$ -глюкозой и  $\alpha$ -глюкозой;
- б)  $\beta$ -фруктозой и  $\alpha$ -глюкозой;
- в)  $\beta$ -глюкозой и  $\beta$ -глюкозой;
- г)  $\beta$ -глюкозой и  $\alpha$ -глюкозой;
- д)  $\beta$ -глюкозой и  $\alpha$ -галактозой.

65. Какие ферменты участвуют в переваривании углеводов?

- а) амилаза, мальтаза;
- б) липаза, пепсин;
- в) сахараза, лактаза;
- г) оксидаза;
- д) фосфатаза.

66. Какие ферменты принимают участие в переваривании белков?

- а) липаза;
- б) пепсин, трипсин;
- в) сахараза, лактаза;
- г) гидролаза;
- д) амилаза.

67. Какие ферменты принимают участие в переваривании липидов?

- а) липаза;
- б) пепсин, трипсин;
- в) сахараза, лактаза;

- г) амилаза;
- д) оксидаза.

68. Что является конечным продуктом гликолиза?

- а) пировиноградная кислота;
- б) молочная кислота;
- в) глюкоуроновая кислота;
- г) уксусная кислота;
- д) бензойная кислота.

69. Основное назначение пентозофосфатного пути:

- а) окисление глюкозы;
- б) снабжение тканей пентозами;
- в) образование лактата;
- г) гидролиз;
- д) фотолиз.

70. Какова главная функция ЦТК?

- а) окисление ацетил-КоА с образованием двух молекул  $\text{CO}_2$ , моля ГТФ (АТФ),  $\text{ЗНАДН}_2$  и  $\text{ФАДН}_2$ ;
- б) окисление ацетата до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ;
- в) окисление пирувата до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ;
- г) окисление лактата до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  с выделением энергии;
- д) окисление глюкозы до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

71. Какие ферменты пищеварительного тракта принимают участие в превращении гликогена и крахмала до молекул глюкозы?

- а)  $\beta$ -амилаза;
- б)  $\alpha$ -амилаза, мальтаза;
- в)  $\beta$ -амилаза,  $\beta$ -фруктозидаза;
- г) пепсин;
- д) гидролаза.

72. Какие из перечисленных соединений являются конечными продуктами маслянокислого брожения?

- а) бутират;  $2\text{CO}_2$  и  $2\text{H}_2$ ;
- б) бутират и  $\text{CO}_2$ ;
- в) бутират и  $\text{H}_2$ ;
- г)  $2\text{CO}_2$  и  $2\text{H}_2$ ;
- д)  $2\text{CO}_2$  и  $2\text{H}_2\text{O}$ .

73. Какое количество АТФ образуется при полном окислении глюкозы?

- а) 70;
- б) 76;
- в) 38;

г) 8;

д) 3.

74. *Что является конечным продуктом гликолиза?*

а) пировиноградная кислота;

б) молочная кислота;

в) пировиноградная кислота и молочная кислота;

г) этанол и  $\text{CO}_2$ ;

д) пропионат.

75. *При каких условиях происходит ЦТК?*

а) анаэробных;

б) аэробных;

в) при любых;

г) жестких;

д) холодных.

76. *Какие функции выполняют липиды?*

а) являются структурными компонентами биомембран;

б) служат формой, в которой запасается метоболическое топливо;

в) служат формой транспортировки топлива;

г) несут генетическую информацию;

д) выполняют защитную функцию.

77. *Какие соединения относятся к липидам?*

а) фосфатиды;

б) кефалины;

в) нейтральные жиры;

г) холестерол;

д) гексуроновые кислоты.

78. *Какие свойства характерны для жирных кислот, входящих в состав липидов высших растений и животных?*

а) наличие четного числа атомов углерода;

б) преобладание ненасыщенных жирных кислот;

в) более низкая температура плавления ненасыщенных жирных кислот;

г) наличие альдегидных или кетонных групп;

д) оптическая плотность.

79. *Какие соединения являются фосфолипидами?*

а) кефалин;

б) лецитин;

в) фосфотидилсерин;

г) спермацет;

д) ланолин.

80. Какой из указанных показателей характеризует степень ненасыщенности жирных кислот?

- а) эфирное число;
- б) иодное число;
- в) число омыления;
- г) кислотное число;
- д) степень полимеризации.

81. Какой из указанных показателей дает возможность определить содержание свободных жирных кислот в нейтральных жирах?

- а) число омыления;
- б) иодное число;
- в) кислотное число;
- г) эфирное число;
- д) степень полимеризации.

82. Какой процесс называется омылением жиров?

- а) ферментативный гидролиз;
- б) щелочной гидролиз;
- в) гидрогенизация;
- г) реакция с ацетатом свинца;
- д) эмульгирование жиров.

83. По какому пути идет (преимущественно) распад высших жирных кислот?

- а) декарбоксилирования;
- б) восстановления;
- в)  $\omega$ -окисления;
- г)  $\beta$ -окисления;
- д)  $\alpha$ -окисления.

84. В каких клеточных компонентах происходит окисление жирных кислот?

- а) ядре;
- б) митохондриях;
- в) рибосомах;
- г) микросомах;
- д) цитоплазме.

85. Какое низкомолекулярное азотистое основание принимает участие в переносе остатка жирной кислоты через мембрану митохондрий?

- а) карнозин;
- б) карнитин;

- в) креатинин;
- г) анзерин;
- д) аланин.

86. Как называются ферменты, катализирующие образование КоА-эфиров жирных кислот?

- а) ацилтрансфераза;
- б) ацетил-КоА-синтетаза;
- в) тиокеназа жирных кислот;
- г) ацетил-КоА-дегидрогеназа;
- д)  $\beta$ -кетотиолаза.

87. Какие реакции входят в цикл  $\beta$ -окисления жирных кислот?

- а) активация жирных кислот за счет КоА-SH (с участием АТФ);
- б) декарбоксилирование;
- в) дегидрирование;
- г) дегидротация;
- д) гидротация.

88. Какие пути окисления жирных кислот, кроме  $\beta$ -окисления, происходят в живых клетках?

- а) окислительное фосфорилирование;
- б)  $\alpha$ -окисления;
- в)  $\omega$ -окисления;
- г) гидролиз;
- д) сольволиз.

89. Какие ферменты принимают участие в одном цикле  $\beta$ -окисления жирных кислот?

- а) КоА-SH;
- б) ФАД;
- в) НАД<sup>+</sup>;
- г) кобаламин;
- д) тиаминпирофосфат.

90. В какой части клетки идет синтез высших жирных кислот?

- а) ядре;
- б) митохондри;
- в) эндоплазматическом ретикулуме цитоплазмы;
- г) микросоме;
- д) рибосоме.

91. Какое соединение является конечным продуктом распада высших жирных кислот?

- а)  $\alpha$ -глицеролфосфат;
- б)  $\beta$ -гидроксипутират;

- в) ацетил-КоА;
- г) метилмалонил-КоА;
- д) ацил-КоА.

92. *Какие свойства характерны для белков?*

- а) амфотерность;
- б) отсутствие способности кристаллизоваться;
- в) отсутствие способности вращать плоскость поляризованного луча;
- г) термостабильность;
- д) термолабильность.

93. *Какие вещества дают биуретовую реакцию?*

- а) все аминокислоты;
- б) глутатион;
- в) дипептиды;
- г) трипептиды и белки;
- д) сахараиды.

94. *Какие кислоты образуются при восстановительном пути дезаминирования аминокислот?*

- а)  $\alpha$ -гидроксикислоты;
- б) предельные кислоты;
- в) непредельные кислоты;
- г)  $\alpha$ -кетокислоты;
- д) ароматические кислоты.

95. *Какие продукты образуются при трансаминировании между аланином и  $\alpha$ -кетоглутаровой кислотой?*

- а) глутаминовая кислота и пировиноградная;
- б) аспарагиновая кислота и пировиноградная;
- в) молочная кислота и пировиноградная;
- г) глутаминовая кислота и молочная;
- д) валин.

96. *При декарбоксилации какой аминокислоты образуется триптомин?*

- а) аланин;
- б) триптофан;
- в) тирозин;
- г) серин;
- д) валин.

97. *В качестве антикоагулянтов используются разнообразные вещества, в том числе полисахарид естественного происхождения, а именно:*

- а) гепарин;

- б) гиалуроновая кислота;
- в) дерматансульфат;
- г) хондроитинсульфат;
- д) декстран.

98. После заживления раны на ее месте образовался рубец. Какое вещество является основным компонентом этой разновидности соединительной ткани?

- а) коллаген;
- б) эластин;
- в) гиалуроновая кислота;
- г) хондроитин-сульфат;
- д) кератансульфат.

99. В цитоплазме миоцитов растворено большое количество метаболитов окисления глюкозы. Укажите один из них, который непосредственно превращается в лактат.

- а) пируват;
- б) оксалоацетат;
- в) глицерофосфат;
- г) глюкозо-6-фосфат;
- д) фруктозо-6-фосфат.

100. При жировой инфильтрации печени нарушается синтез фосфолипидов. Укажите, какое из перечисленных веществ может усилить процессы метилирования в синтезе фосфолипидов.

- а) аскорбиновая кислота;
- б) метионин;
- в) глюкоза;
- г) глицерин;
- д) цитрат.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Б е л я с о в а , Н. А. Биохимия и молекулярная биология: учеб. пособие / Н. А. Белясова. – Минск: Книжный дом, 2004. – 416 с.
2. Биохимия. Краткий курс с упражнениями и задачами / под ред. чл.-кор. РАН, проф. Е. С. Северина, проф. А. Я. Николаева. – Москва: ГЭОТАР-МЕД, 2001. – 448 с.
3. Биохимия животных: учебник для студ. зооинж. и вет. ф-тов с.-х. вузов / А. В. Четкин [и др.]; под ред. проф. А. В. Четкина. – Москва: Высш. шк., 1982. – 511 с.
4. Грандберг, И. И. Органическая химия: учебник для студ. вузов, обуч. по агроном. спец. / И. И. Грандберг. – 6-е изд., стереотип. – Москва: Дрофа, 2004. – 672 с.
5. Ж е р е б ц о в , Н. А. Биохимия: учебник / Н. А. Жеребцов, Т. Н. Попова, В. Г. Артюхов. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. – 696 с.
6. З а й ц е в , С. Ю. Биохимия животных / С. Ю. Зайцев. – Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2004. – 382 с.
7. К и м , А. М. Органическая химия: учеб. пособие / А. М. Ким. – 3-е изд., испр. и доп. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2002. – 971 с.
8. Кононский, А. И. Биохимия животных: учеб. пособие для вузов / А. И. Кононский. – Киев: Выща шк. Головное изд-во, 1980. – 432 с.
9. Николаев, А. Я. Биологическая химия: учебник / А. Я. Николаев. – Москва: Мед. информ. агентство, 2004. – 566 с.
10. С л е с а р е в , В. И. Химия: основы химии живого: учебник для вузов / В. И. Слесарев. – Санкт-Петербург: Химиздат, 2001. – 784 с.
11. Т ю к а в к и н а , Н. А. Биоорганическая химия: учебник / Н. А. Тюкавкина, Ю. И. Бауков. – Москва: Дрофа, 2005. – 542 с.
12. Химия. Лабораторный практикум: учеб. пособие / А. Р. Цыганов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 320 с.
13. Цыганов, А. Р. Биохимия. Практикум: учеб. пособие / А. Р. Цыганов, И. В. Сучкова, И. В. Ковалева. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 150 с.
14. Цыганов, А. Р. Сборник задач и упражнений по химии: учеб. пособие / А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 236 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ И ТИПОВЫЕ ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ БЛОКОВ МОДУЛЯ.....	5
ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ.....	22
Тема 1. Теоретические основы органической химии.....	22
Тема 2. Общие закономерности строения и реакционной способности кислородсодержащих органических соединений.....	29
Тема 3. Липиды.....	42
Тема 4. Углеводы.....	49
Тема 5. Азотсодержащие соединения: амины и аминокислоты.....	54
Тема 6. Гетероциклические соединения. Нуклеиновые кислоты.....	61
БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХИМИЯ.....	70
Тема 1. Витамины.....	70
Тема 2. Ферменты.....	73
Тема 3. Обмен веществ и энергии. Биологическое окисление.....	76
Тема 4. Гормоны.....	83
Тема 5. Обмен углеводов.....	85
Тема 6. Обмен липидов.....	91
Тема 7. Обмен белков и аминокислот.....	95
Тема 8. Обмен нуклеиновых кислот.....	98
Тема 9. Взаимосвязь обмена углеводов и липидов.....	99
ЗАДАНИЯ И УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ.....	103
ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ.....	124
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	141

Учебное издание

**Поддубная** Ольга Владимировна  
**Ковалева** Ирина Владимировна  
**Мохова** Елена Владимировна и др.

ХИМИЯ

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ.  
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Методические указания по изучению дисциплины  
и выполнению модульно-рейтинговых заданий

Редактор *О. Г. Толмачёва*  
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 28.03.2022. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 7,11.  
Тираж 60 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.  
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.