

# Тема: **ЛИПИДЫ**

Лекция № 2 для студентов 2 курса,  
обучающихся  
по специальности 31.05.01-Лечебное дело  
к.б.н., доцент Тепляшина Елена Анатольевна

Красноярск, 2016

# План лекции

1. Определение и классификация липидов.
2. Биологические свойства липидов.
2. Строение жиров.
3. Химические, физические свойства жиров.
4. Строение простых и сложных липидов.
5. Медико – биологическое значение липидов.

- **Липиды** это органические вещества гидрофобной природы, нерастворимые в воде, но хорошо растворимые в неполярных органических растворителях: хлороформе, эфире, ацетоне, бензоле и др.
- Большинство липидов имеют в своем составе жирные кислоты, связанные со *спиртами глицерином* или *холестерином* **сложноэфирными СВЯЗЯМИ**, с аминспиртом *сфингозином* – **амидной СВЯЗЬЮ**.

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ЛИПИДОВ

**1. СТРУКТУРНАЯ ИЛИ ПЛАСТИЧЕСКАЯ РОЛЬ** – липиды входят в состав структурных компонентов клетки (фосфо- и гликолипиды), ядра, цитоплазмы, мембраны и в значительной степени определяют их свойства (в нервной ткани содержится до 25% , в клеточных мембранах до 40% жиров).

**2. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ РОЛЬ** – липиды обеспечивают 25-30% всей энергии необходимой организму (при расщеплении 1г жира образуется 38,9 кДж).

**3. ЖИРЫ ЯВЛЯЮТСЯ ИСТОЧНИКОМ ОБРАЗОВАНИЯ ЭНДОГЕННОЙ ВОДЫ.** При окислении 100 г жира выделяется 107 мл  $H_2O$ .

**4. ФУНКЦИЯ ЗАПАСАНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ** (жировое депо). Жиры являются своего рода «энергетическими консервами».

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ЛИПИДОВ II

**5. ЗАЩИТНАЯ.** Жиры защищают органы от повреждений (подушка около глаз, околопочечная капсула).

**6. ТРАНСПОРТНАЯ ФУНКЦИЯ** – переносчики жирорастворимых витаминов.

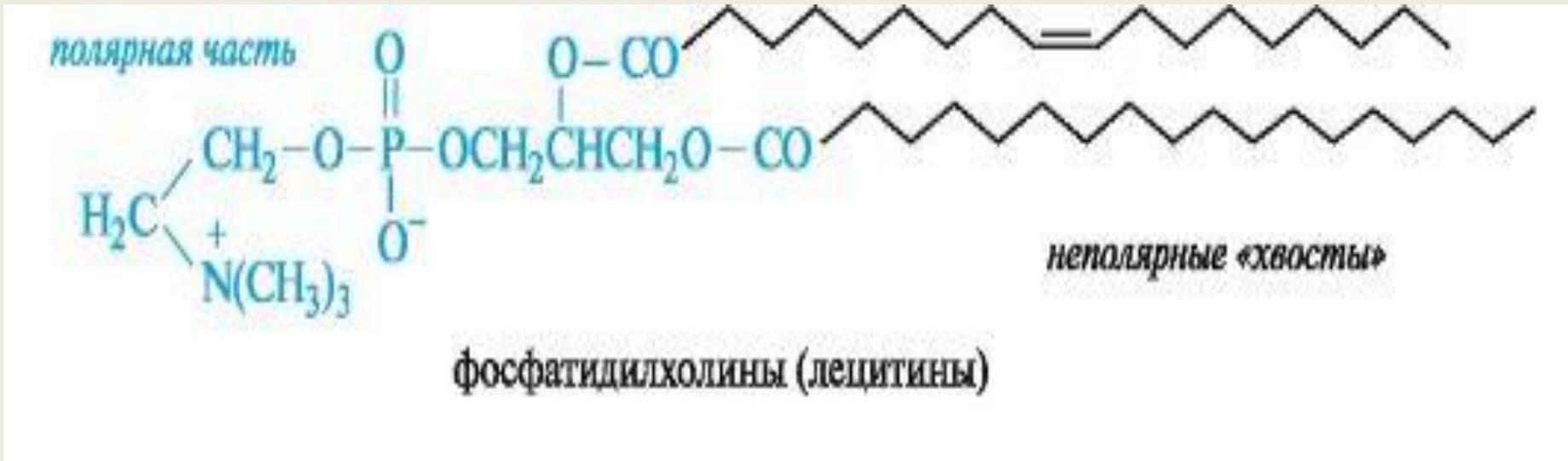
**7. ТЕРМОРЕГУЛЯЦИОННАЯ.** Жиры предохраняют организм от потери тепла.

**8. Жиры являются ИСТОЧНИКОМ СИНТЕЗА СТЕРОИДНЫХ ГОРМОНОВ.**

**9. Участвуют в СИНТЕЗЕ ТРОМБОПЛАСТИНА и МИЕЛИНА НЕРВНОЙ ТКАНИ, ЖЕЛЧНЫХ КИСЛОТ, ПРОСТАГЛАНДИНОВ и ВИТАМИНА D.**

**10.** Некоторые мужские половые стероидные гормоны в жировой ткани преобразуются в женские гормоны, что является основой косвенного участия жировой ткани в **ГУМОРАЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ** функций организма.

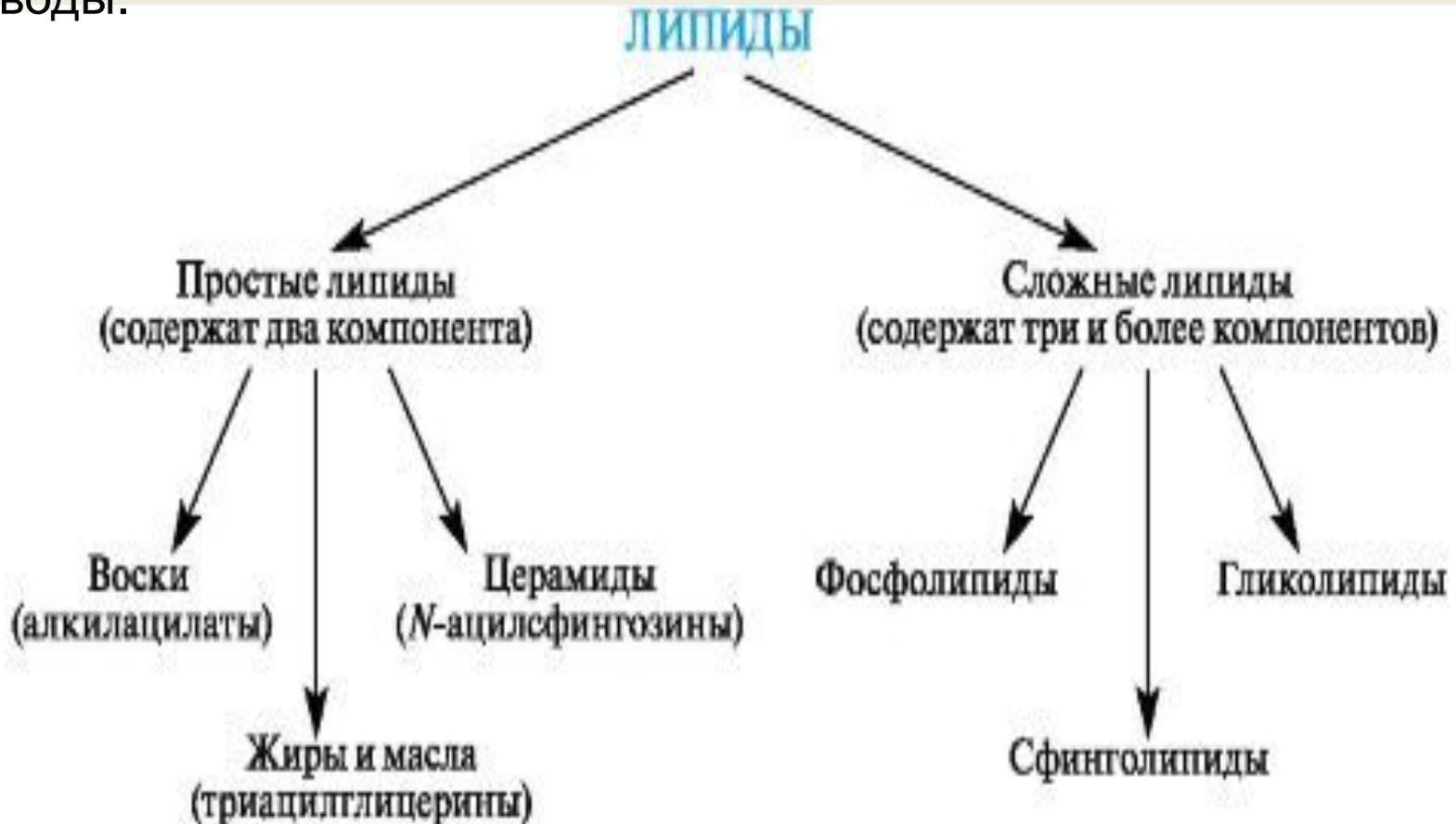
# Физико-химические свойства жиров



Находясь на поверхности раздела полярной и неполярной фаз липиды проявляют свойства **эмульгаторов**. В составе биомембран они также обуславливают **высокое электрическое сопротивление** и **селективную проницаемость** бислоя.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИПИДОВ

Липиды делят на *простые* (двухкомпонентные), если продуктами их гидролиза являются спирты и карбоновые кислоты, и *сложные* (многокомпонентные), когда в результате их гидролиза кроме этого образуются и другие вещества, например фосфорная кислота и углеводы.



# ХИМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИПИДОВ

- По химической классификации выделяют две категории липидов – **омыляемые** (вещества содержащие сложноэфирную связь – *воска, триацилглицерины, фосфолипиды* и др.) и **неомыляемые** (*стероиды, терпены*).

# Структурные компоненты липидов

Все группы липидов имеют **два** обязательных структурных компонента - **высшие карбоновые кислоты** и **спирты**.

Многие высшие карбоновые кислоты были впервые выделены из жиров, поэтому они получили название **жирных**.

Общая формула жирных кислот имеет вид:  $R-COOH$ , где **R** – углеводородный радикал

Общие структурные признаки жирных кислот:

- являются монокарбоновыми;
- содержат неразветвленную углеродную цепь;
- включают четное число атомов углерода в цепи;
- имеют цис-конфигурацию двойных связей (если они присутствуют).

# СТРУКТУРА, СОСТАВ И СВОЙСТВА ЖИРНЫХ КИСЛОТ

Жирные кислоты представляют собой неразветвленную углеводородную цепь, на одном конце которой находится **карбоксильная группа**, а на другом – **метильная группа** (омега – С-атом).

Большинство жирных кислот содержат четное число атомов С – от 16 до 20.

Биологически важные жирные кислоты могут быть ***насыщенными*** и ***ненасыщенными***.

# Насыщенные жирные кислоты

Жирные кислоты, не содержащие двойных связей, называют *насыщенными*.

Насыщенные жирные кислоты имеют общую формулу  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$ , в которой  $n$  может изменяться от 2 до 20 и несколько выше.

Основными среди насыщенных жирных кислот (до 30-35%) являются:

- масляная кислота  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
- пальмитиновая  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
- стеариновая  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$  (8-12%).

# ОСНОВНЫЕ НАСЫЩЕННЫЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ

Название кислоты		Число атомов углерода	Формула	Т. пл., °C
тривиальное	систематическое			
Масляная	Бутановая	4	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	-8
Капроновая	Гексановая	6	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	-2
Каприловая	Октановая	8	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	16
Каприновая	Декановая	10	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	31,5
Лауриновая	Додекановая	12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	44
Миристиновая	Тетрадекановая	14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	54
Пальмитиновая	Гексадекановая	16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	64
Стеариновая	Октадекановая	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	70
Арахидиновая	Эйкозановая	20	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	78,5

# НЕНАСЫЩЕННЫЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ

Жирные кислоты, содержащие одну или несколько двойных связей, соответственно называют *моно-* или *полиненасыщенными*.

К ним относятся:

- олеиновая кислота (C 18:1) (одна двойная связь),
- линолевая кислота (C 18:2) (две двойные связи),
- линоленовая кислота (C 18:3) (три двойные связи),
- арахидоновая кислота (C 20:4) (четыре двойные связи).

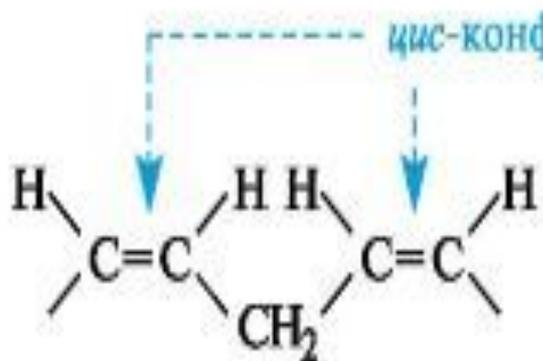
Одной из наиболее распространенных кислот в живой природе является

олеиновая кислота  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ .

Она содержится в оливковом масле, от которого и произошло ее название, а также в свином жире. Двойная связь в олеиновой кислоте имеет *цис-конфигурацию*.

# Цис-конфигурация

- В природных кислотах число атомов углерода колеблется от 4 до 22, но чаще встречаются кислоты с 16 или 18 атомами углерода. Ненасыщенные кислоты содержат одну или несколько двойных связей, имеющих цис-конфигурацию. Ближайшая к карбоксильной группе двойная связь обычно расположена между атомами C-9 и C-10. Если двойных связей несколько, то они отделены друг от друга метиленовой группой  $\text{CH}_2$ .



# Семейства омега-3, омега-6, омега-9

По положению **первой двойной связи** от метильного углерода полиненасыщенные жирные кислоты делятся на семейства **омега-3** и **омега-6**.

Линолевая кислота и ненасыщенные кислоты с иным числом атомов углерода, но с расположением двойных связей также у третьего атома углерода, считая от метильной группы, составляют **семейство омега-3** высших жирных кислот.

Другие типы кислот образуют аналогичные семейства линолевой (**омега-6**) и олеиновой (**омега-9**) кислот.

**Витамин F** - это комплекс *полиненасыщенных жирных кислот омега-3 и омега-6, которые объединяют в себе линолевую, линоленовую, арахидоновую, эйкозапентаеновую и докозагексаеновую кислоты.*

# Номенклатура ненасыщенных высших жирных кислот

В настоящее время применяется **собственная номенклатура** ненасыщенных высших жирных кислот. В ней концевой атом углерода, независимо от длины цепи, обозначается **последней буквой греческого алфавита  $\omega$  (омега)**. Отсчет положения двойных связей производится не как обычно от карбоксильной группы, а от **метильной группы**.

Так, линоленовая кислота обозначается как 18:3  $\omega$ -3 (омега-3).



# ОСНОВНЫЕ НЕНАСЫЩЕННЫЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ

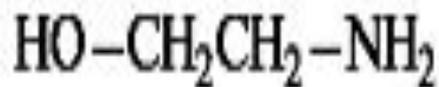
Число атомов С	Тривиальное название	Систематическое название, включая местонахождение двойных связей	Химическая формула соединения
<b>Моноеновые кислоты</b>			
16	Пальмитиновая	9-гексадеценовая	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$
18	Олеиновая	9-октадеценовая	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$
22	Эруковая	13-докозеновая	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_{11}-\text{COOH}$
<b>Диеновые кислоты</b>			
18	Линолевая	9,12-октадекадиеновая	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$
<b>Триеновые кислоты</b>			
18	Линоленовая	9,12,15-октадекатриеновая	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$

# Незаменимые жирные кислоты

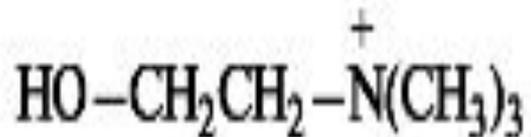
- Большинство жирных кислот синтезируется в организме человека, однако полиненасыщенные (линолевая и линоленовая «Витамин F» ) не синтезируются и должны поступать с пищей. Эти жирные кислоты называют *незаменимыми* или *эссенциальными*.
- В организме они не синтезируются и должны поступать с пищей в количестве около **5 г** в день. В природе эти кислоты содержатся в основном в растительных маслах.
- *Эссенциальные жирные кислоты* способствуют нормализации липидного профиля плазмы крови. **Линетол**, представляющий собой смесь этиловых эфиров высших жирных ненасыщенных кислот, используется в качестве гипо-липидемического лекарственного средства растительного происхождения.

# СПИРТЫ В СТРУКТУРЕ ПРИРОДНЫХ ЛИПИДОВ

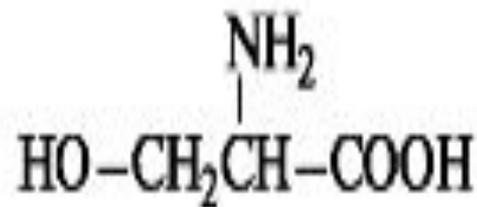
- В состав липидов могут входить:
- **высшие одноатомные спирты** (цетиловый  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{OH}$  и меллисиловый  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{29}\text{OH}$  спирты, входящие в состав восков);
- **многоатомные спирты** (трехатомный спирт глицерин, двухатомный спирт этиленгликоль, миоинозит);
- **аминоспирты** (2-аминоэтанол (или коламин), холин).



коламин



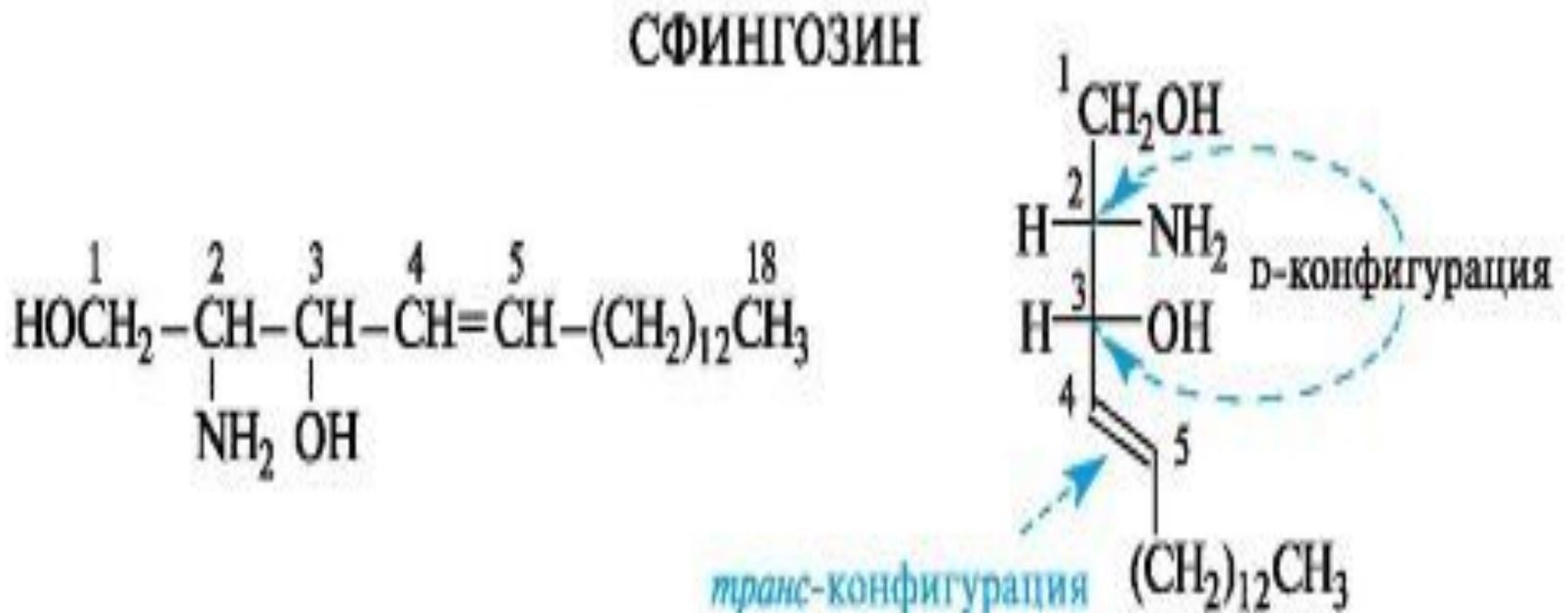
холин



серин

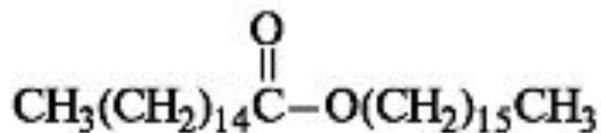
# СФИНГОЗИН

- Сфингозин - ненасыщенный длинноцепочечный двухатомный аминоспирт. Двойная связь в сфингозине имеет *транс*-конфигурацию, а асимметрические атомы С-2 и С-3 - D-конфигурацию.

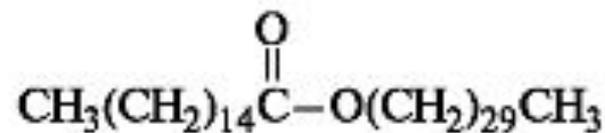


# ПРОСТЫЕ ЛИПИДЫ. ВОСКИ.

- **Воски** - сложные эфиры высших жирных кислот и высших одноатомных спиртов.
- Воски образуют защитную смазку на коже человека и животных и предохраняют растения от высыхания. Они применяются в фармацевтической и парфюмерной промышленности при изготовлении кремов и мазей.
- Примером является **цетиловый эфир пальмитиновой кислоты** и **мелиссиловый эфир пальмитиновой кислоты** - компонент пчелиного воска.



цетиловый эфир пальмитиновой кислоты  
(цетилпальмитат)



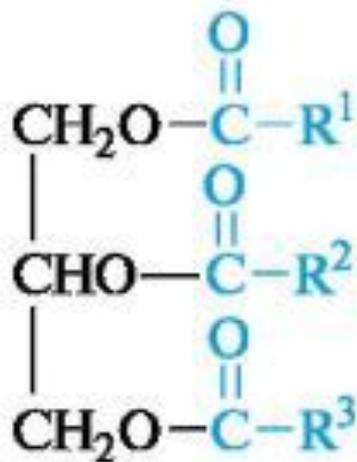
мелиссиловый эфир пальмитиновой кислоты  
(мелисилпальмитат)

# Триацилглицерины, или жиры

**Триацилглицерины** (жиры и жирные масла природного происхождения) представляют собой сложные эфиры, образованные **глицерином** и **жирными кислотами**.

В организме человека триацилглицерины играют роль структурного компонента клеток или запасного вещества («жировое депо»).

## ОБЩАЯ СТРУКТУРА ТРИАЦИЛГЛИЦЕРИНОВ



ацильные остатки высших жирных кислот

# СОСТАВ ТРИАЦИЛГЛИЦЕРИНОВ

- В состав триацилглицерина могут входить остатки как одной и той же кислоты – такие жиры называются **простыми**, – так и разных (**смешанные жиры**).
- Триацилглицерины неполярны и вследствие этого практически нерастворимы в воде. Основная функция триацилглицеринов – **запасание энергии**. Триацилглицерины накапливаются в жировой ткани, которая, кроме депонирования жира, выполняет термоизолирующую функцию и защищает органы от механических повреждений.

## Бурый или «коричневый» жир

- **Бурый жир** (второе название – «коричневый» жир) ученые изучали на протяжении нескольких лет. Бурый жир – термогенерирующий тип жира, который вместо того, чтобы накапливать энергию, наоборот, сжигает ее. Такая способность бурого жира имеет большое значение для нормализации веса.
- У новорожденного достаточный запас бурого жира, который помогает его телу согреться. По мере взросления большая часть его запаса в организме теряется. Бурый жир расположен в области шеи вокруг кровеносных сосудов (помогает согреть кровь).
- Бурый жир является **источником эндогенной воды**.



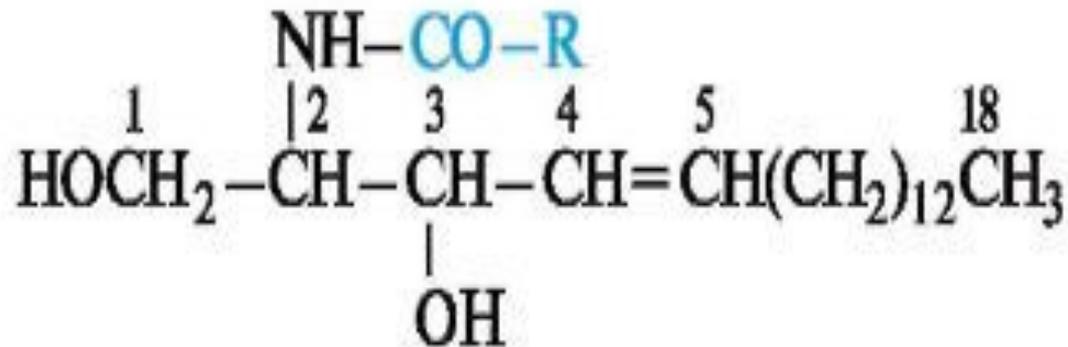
# Процесс омыления жиров

- Триацилглицерины, в состав которых входят жирные кислоты с короткими цепями либо с высокой степенью ненасыщенности, как правило, имеют более **низкие температуры плавления**. Поэтому при комнатной температуре они находятся в виде масел. Это свойственно триацилглицеринам растительного происхождения, которые содержат большую долю ненасыщенных кислот.
- **Процесс омыления** или гидролиз сложного эфира с образованием спирта и кислоты.
- Животные жиры характеризуются высоким содержанием насыщенных жирных кислот и являются **твердыми**.

# ЦЕРАМИДЫ

**Церамиды** - это N-ацилированные производные спирта сфингозина. Церамиды в незначительных количествах присутствуют в тканях растений и животных. Чаще церамиды входят в состав сложных липидов - сфингомиелинов, цереброзидов, ганглиозидов.

## ОБЩАЯ СТРУКТУРА ЦЕРАМИДОВ



**RCO** – ацильный остаток высших жирных кислот

# СЛОЖНЫЕ ЛИПИДЫ. ФОСФОЛИПИДЫ

- **Фосфолипиды** содержат гидрофобную и гидрофильную области и поэтому обладают **амфифильными свойствами**, т.е. они способны растворяться в неполярных растворителях и образовывать стойкие эмульсии с водой.
- Фосфолипиды в зависимости от наличия в их составе спиртов глицерина и сфингозина делятся на **глицерофосфолипиды** и **сфингофосфолипиды**.

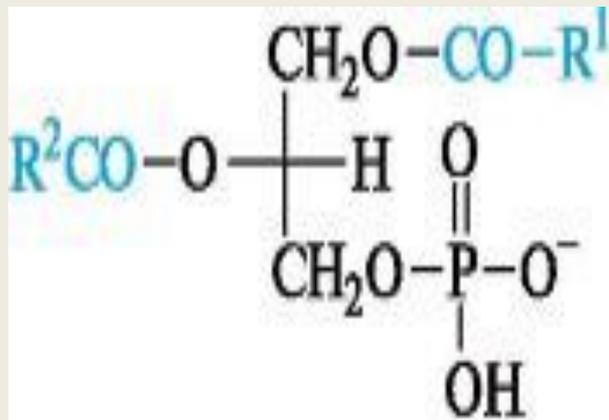
# Классификация фосфолипидов

В группу фосфолипидов входят вещества, отщепляющие при гидролизе фосфорную кислоту, например глицерофосфолипиды и некоторые сфинголипиды. В целом фосфолипидам свойственно достаточно высокое содержание ненасыщенных кислот.



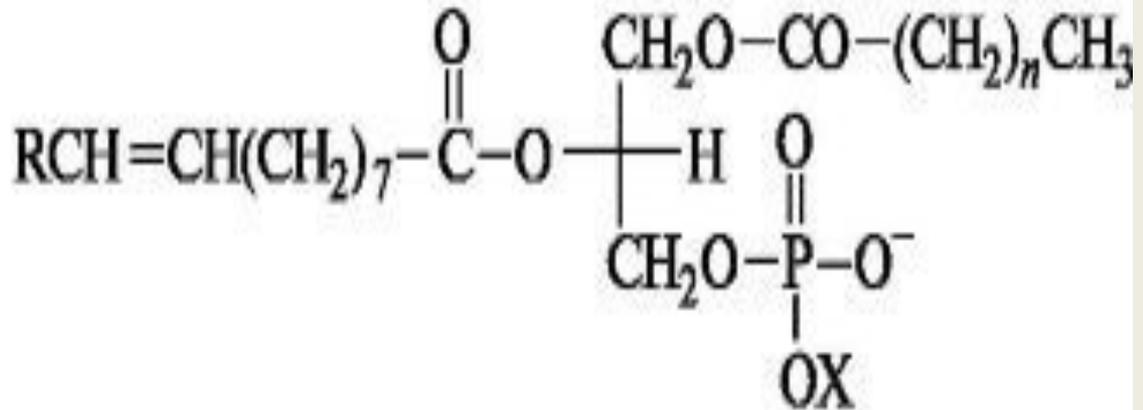
# Глицерофосфолипиды

В основе строения молекулы глицерофосфолипидов лежит *фосфатидная кислота*, образованная глицерином, двумя жирными и фосфорной кислотами. Глицерофосфолипиды являются **главными липидными компонентами клеточных мембран**.



L-фосфатидовые кислоты

$\text{R}^1\text{CO}$ ,  $\text{R}^2\text{CO}$  – остатки высших  
жирных кислот



общая структура фосфатидов

# Примеры фосфатидов

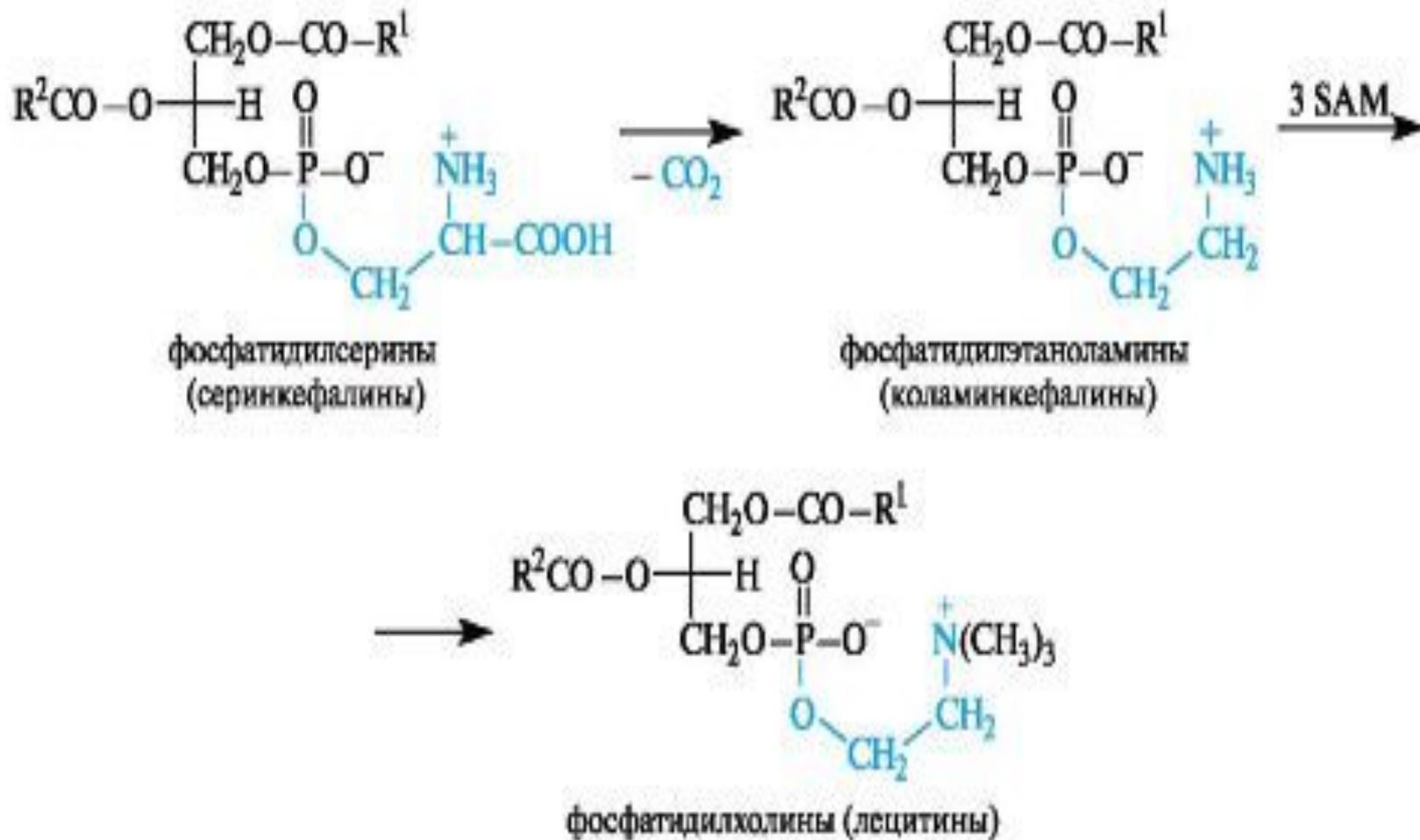
Примерами фосфатидов могут служить соединения, в составе которых фосфатидовые кислоты *этерифицированы* по фосфатному гидроксилу соответствующими спиртами:

**фосфатидилсерины** (этерифицирующий компонент – серин);

**фосфатидилэтаноламины** (этерифицирующий компонент этаноламином);

**фосфатидилхолины** (этерифицирующий компонент – холин).

# Взаимосвязь этерифицирующих компонентов фосфатидов

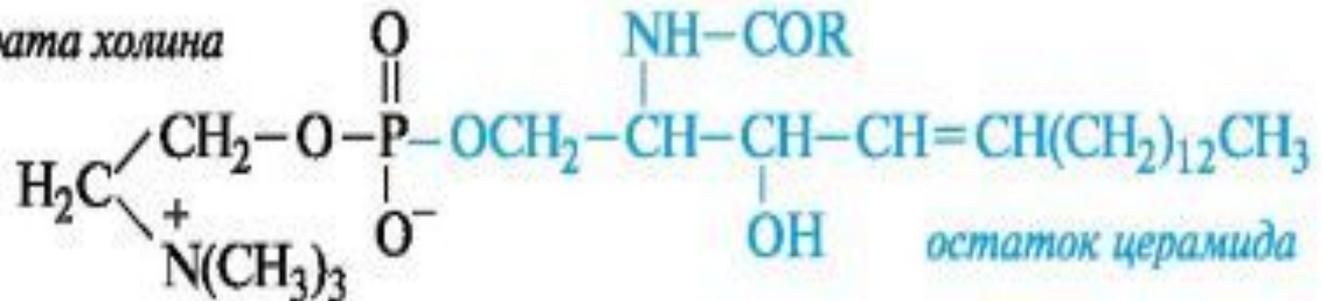


# СФИНГОЛИПИДЫ

- Сфинголипиды представляют собой структурные аналоги глицерофосфолипидов, в которых вместо глицерина используется **сфингозин** (ненасыщенный длинноцепочечный двухатомный аминспирт). Важную группу сфинголипидов составляют **сфингомиелины**, впервые обнаруженные в нервной ткани. В сфингомиелинах гидроксильная группа у С-1 церамида этерифицирована, фосфатом холина (реже фосфатом коламина), поэтому их можно отнести и к фосфолипидам.

## ОБЩАЯ СТРУКТУРА СФИНГОМИЕЛИНОВ

*остаток фосфата холина*

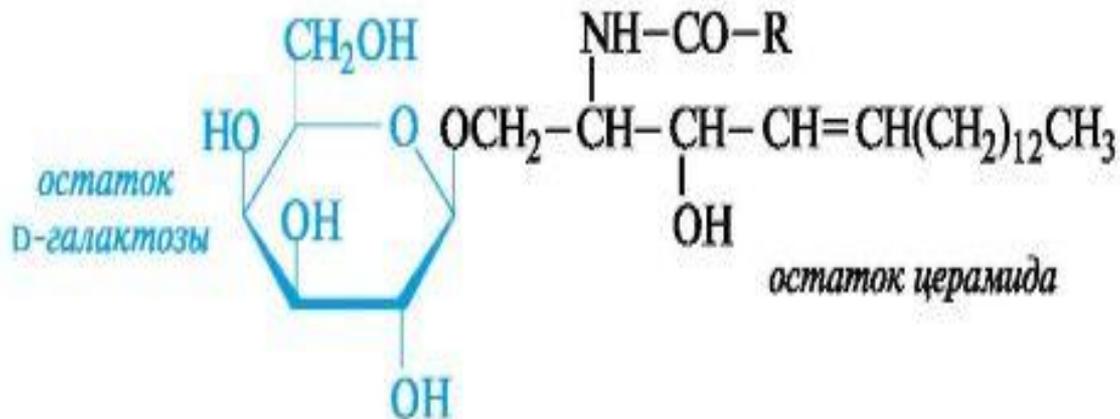


**RCO** – остаток высшей жирной кислоты

# ГЛИКОЛИПИДЫ

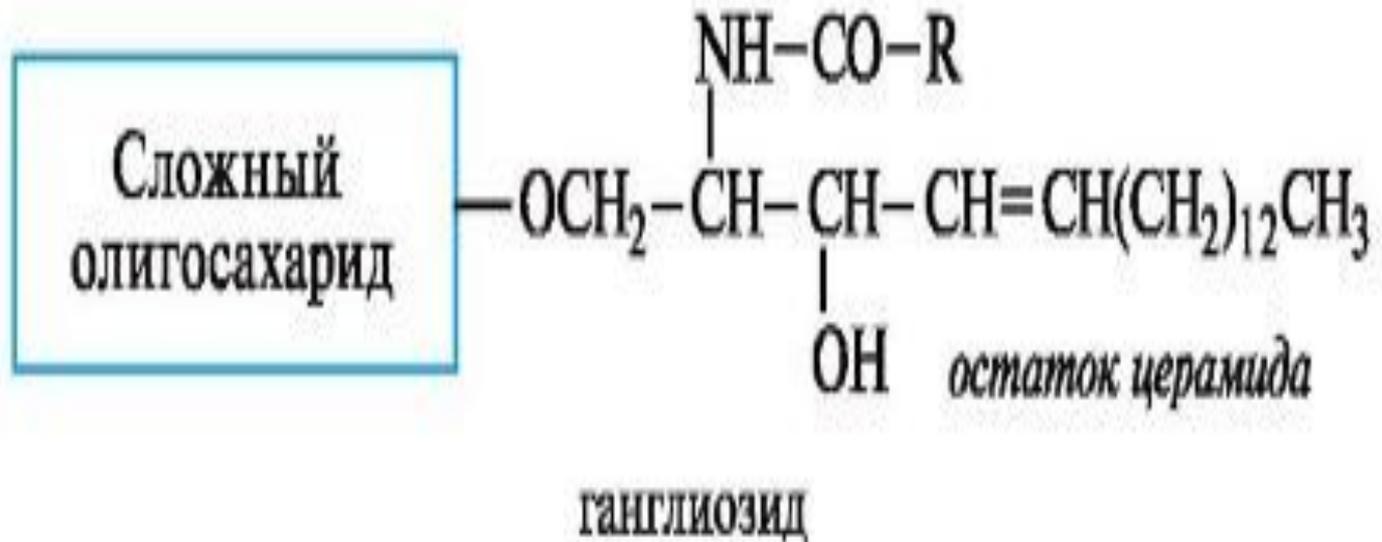
- **ГЛИКОЛИПИДЫ** это соединения включают углеводные остатки (чаще D-галактозы, реже D-глюкозы) и не содержат остатка фосфорной кислоты. Типичные представители гликолипидов - **цереброзиды** и **ганглиозиды** - представляют собой сфингозинсодержащие липиды (поэтому их можно считать и сфинголипидами).
- В **цереброзидах** остаток церамида связан с D-галактозой или D-глюкозой  $\beta$ -гликозидной связью. Цереброзиды (галактоцереброзиды, глюкоцереброзиды) входят в состав оболочек нервных клеток.

## ОБЩАЯ СТРУКТУРА ГАЛАКТОЦЕРЕБРОЗИДОВ



# ГАНГЛИОЗИДЫ

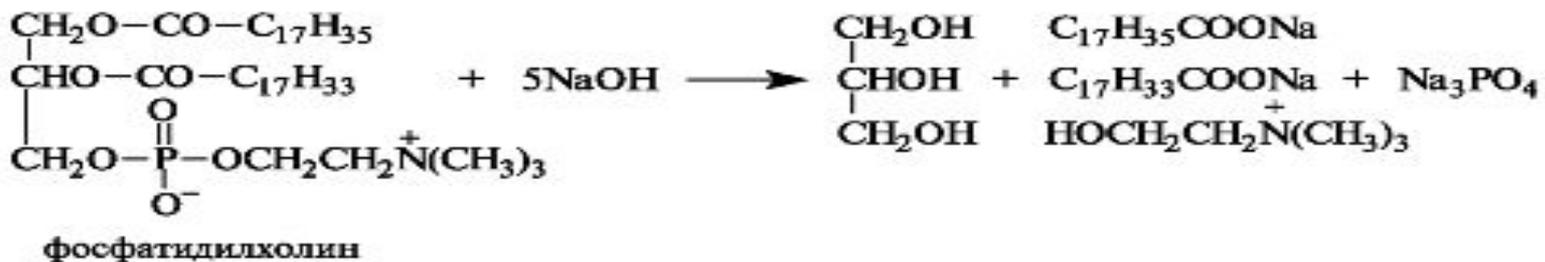
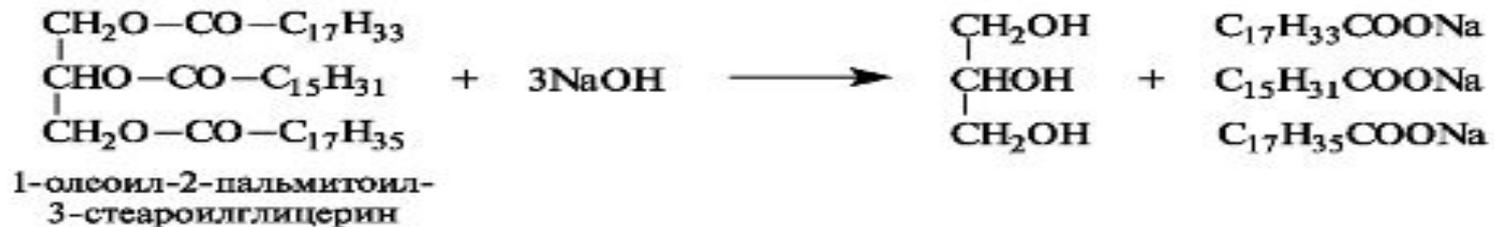
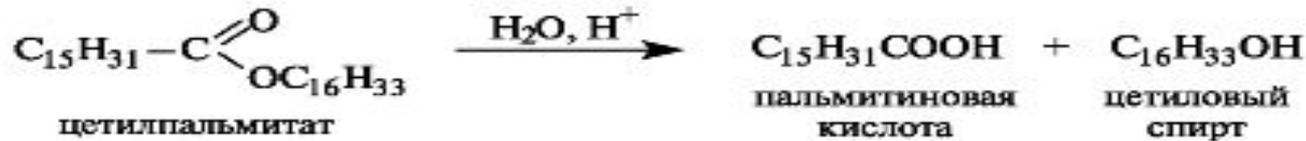
**Ганглиозиды** – богатые углеводами сложные липиды, впервые выделенные из серого вещества головного мозга. В структурном отношении они сходны с цереброзидами, отличаясь тем, что вместо моносахарида они содержат **олигосахаридный остаток сложной структуры** включающий один остаток V-ацетилнейраминовой кислоты.



# Некоторые свойства омыляемых липидов

**Реакция гидролиза** – представляет собой первую стадию процесса утилизации жиров в организме. В организме гидролиз осуществляется под действием ферментов – **липаз**.

В промышленности с помощью реакции гидролиза устанавливают строение липидов, а также получают ценные продукты (мыла). Гидролиз триацилглицеринов осуществляют либо воздействием **перегретого пара** (в промышленности), либо **нагреванием с водой в присутствии минеральных кислот или щелочей** (омыление).

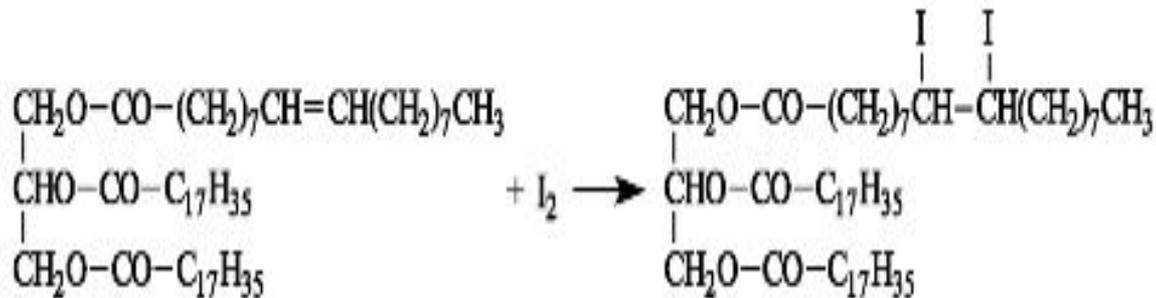


# Реакция присоединения

**Реакция присоединения** – липиды, содержащие в структуре остатки ненасыщенных кислот, присоединяют по двойным связям водород, галогены, галогеноводороды, воду в кислой среде.

**Иодное число** - это мера ненасыщенности триацилглицеринов. Оно соответствует числу граммов иода, которое может присоединиться к 100 г вещества. Состав природных жиров и масел и их иодные числа варьируют.

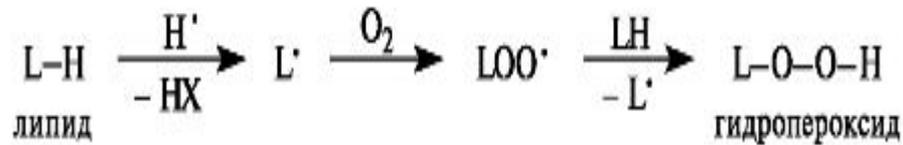
**Пример:** взаимодействие 1-олеоил-дистеароилглицерина с иодом (иодное число этого триацилглицерина равно 30). Каталитическое гидрирование (гидрогенизация) ненасыщенных растительных масел - **важный промышленный процесс**. В этом случае водород насыщает двойные связи и жидкие масла превращаются в **твердые жиры**.



1-олеоилдистеароилглицерин

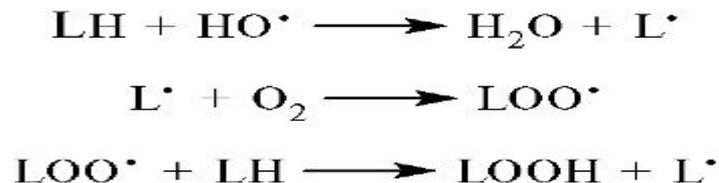
# Реакция окисления

Первичными продуктами взаимодействия липидов с молекулярным кислородом являются **гидропероксиды**, образующиеся в результате цепного свободнорадикального процесса.



**Пероксидное окисление липидов** - важный окислительный процесс в организме. Он является основной причиной повреждения клеточных мембран (например, при лучевой болезни).

Структурные фрагменты ненасыщенных высших жирных кислот в фосфолипидах служат мишенью для атаки **активными формами кислорода**.



# МОДЕЛЬ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ

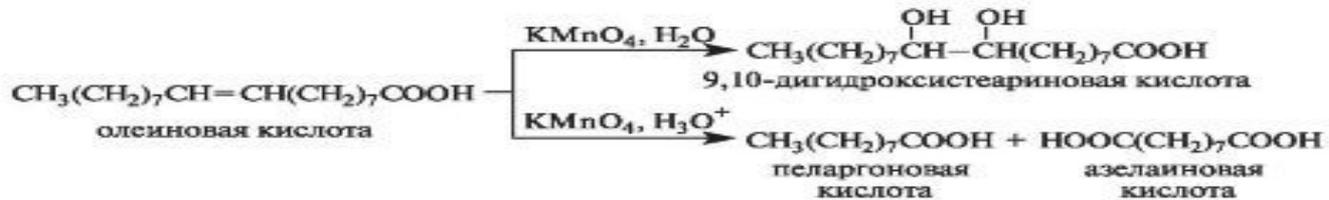
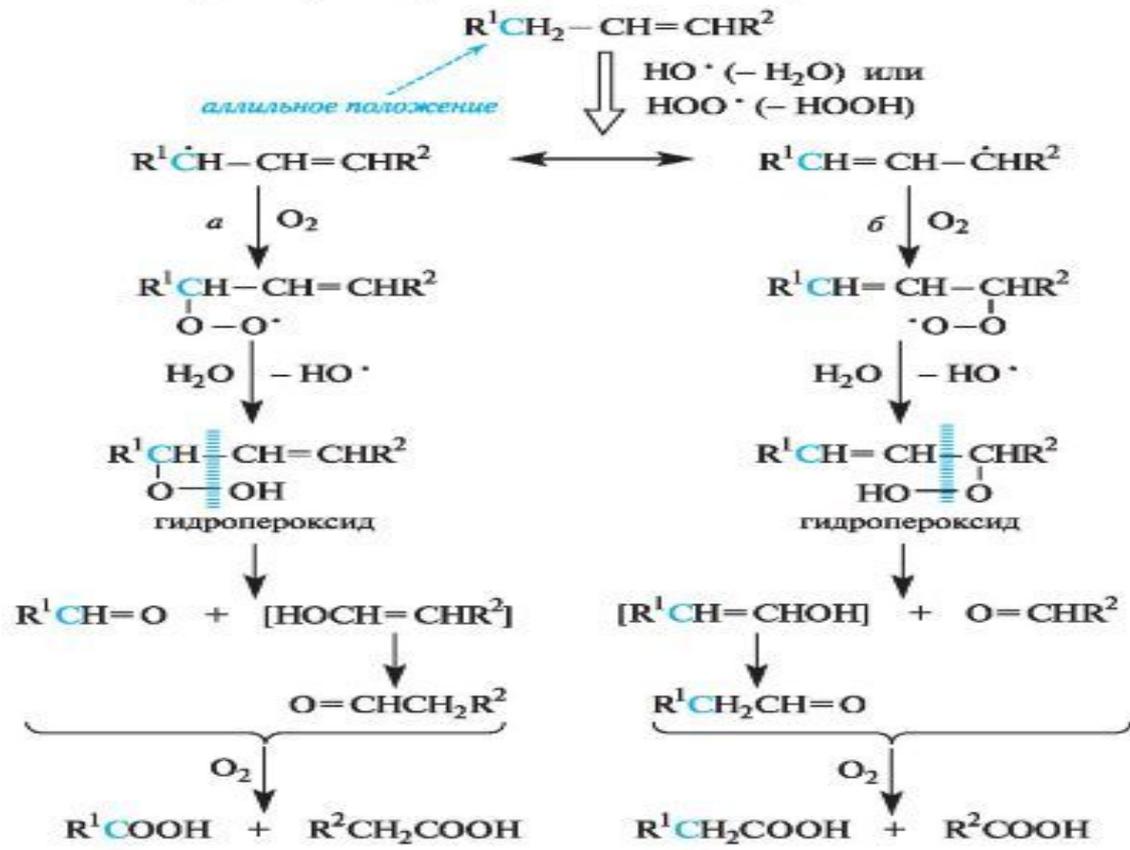


Схема 10.3. Модель перекисдного окисления липидов

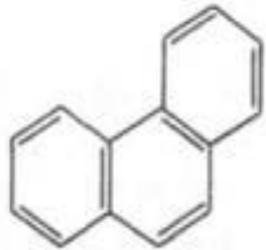


# Неомыляемые липиды

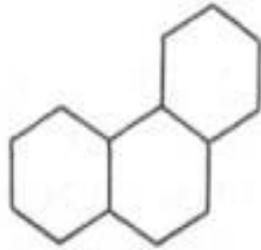
- Неомыляемые липиды не гидролизуются в кислой и щелочной среде.
- Неомыляемые липиды подразделяют на 2 больших подкласса: стероиды и терпены. *Стероиды* присутствуют, в животных тканях, тогда как терпены присутствуют в основном в тканях растений. Стероиды и терпены построены из одинаковых изопреновых фрагментов и относятся к категории изопреноидов.

# СТЕРОИДЫ

Стероидная природа характерна для желчных кислот, мужских и женских половых гормонов, гормонов коры надпочечников.



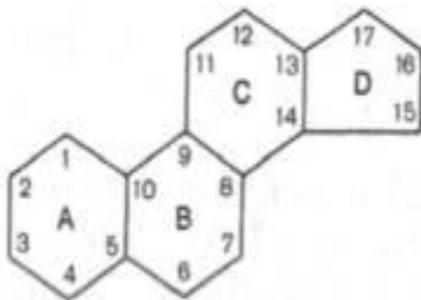
Фенантрен



Пергидрофенантрен



Циклопентан

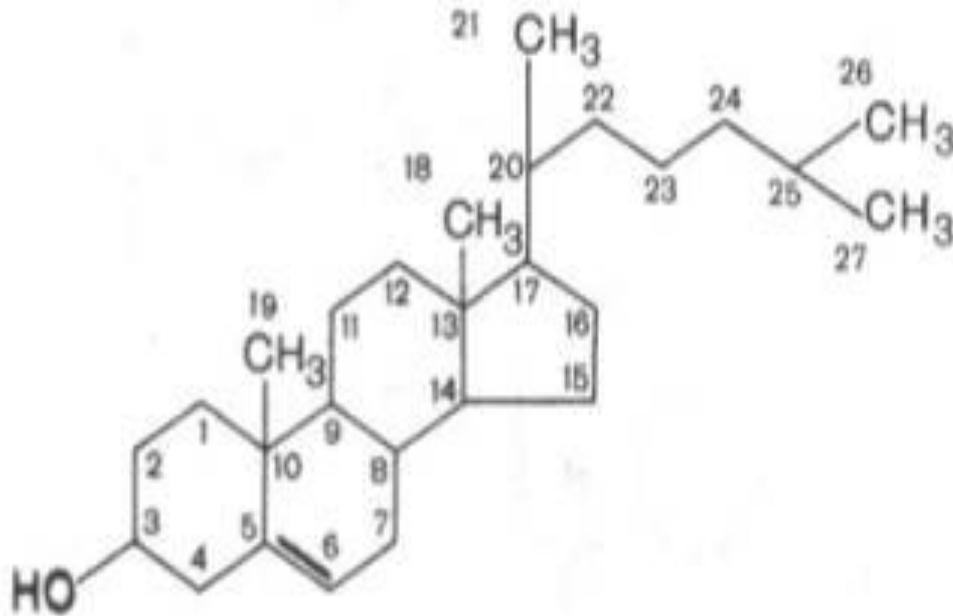


Циклопентанпергидрофенантрен  
(общая структурная основа стероидов)

Стероиды имеют циклическое строение. В основе их структуры лежит структура **циклопентанпергидрофенантрена** (стерана), состоящего из трех конденсированных циклогексановых колец (А, В, С) и циклопентанового кольца D.

# ХОЛЕСТЕРИН

Холестерин входит в состав клеточных мембран и определяет их вязкость.

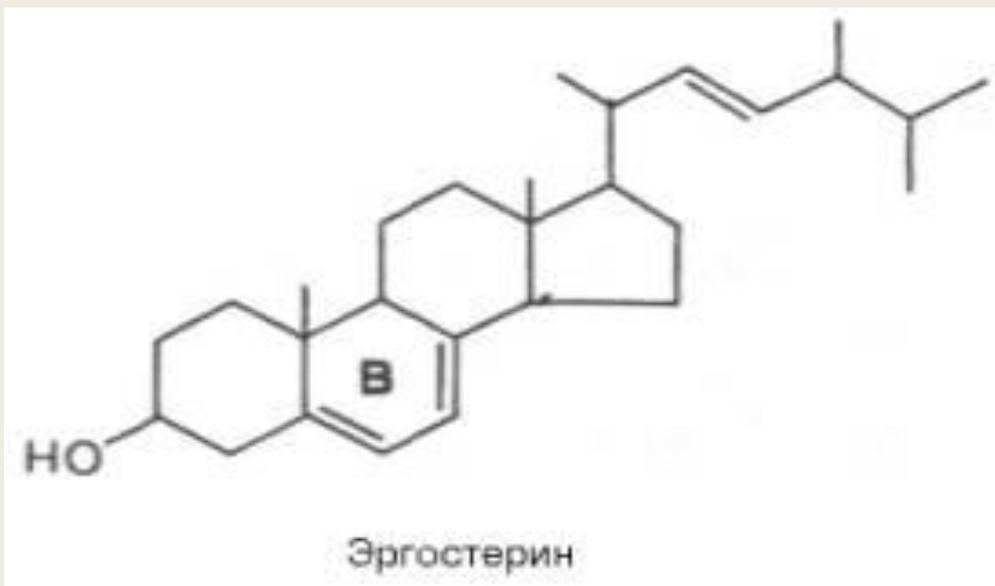


Холестерин (холестерол)

Холестерин – источник образования в организме млекопитающих желчных кислот, а также стероидных гормонов (половых и кортикоидных). Продукт окисления холестерина – 7-дегидрохолестерин, под действием УФ-лучей в коже превращается в витамин D<sub>3</sub>.

# ЭРГОСТЕРИН

- **Эргостерин** – предшественник витамина D. После воздействия на эргостерин УФ-лучами он приобретает свойство оказывать **противорахитное действие** (при раскрытии кольца В). Эргостерин плохо всасывается в кишечнике и потому обнаруживаются в тканях человека в следовых количествах.



# ТЕРПЕНЫ

К терпенам относят группу соединений, включающую себя как полиизопреновые углеводороды, так и их кислородсодержащие производные – спирты, альдегиды и кетоны.

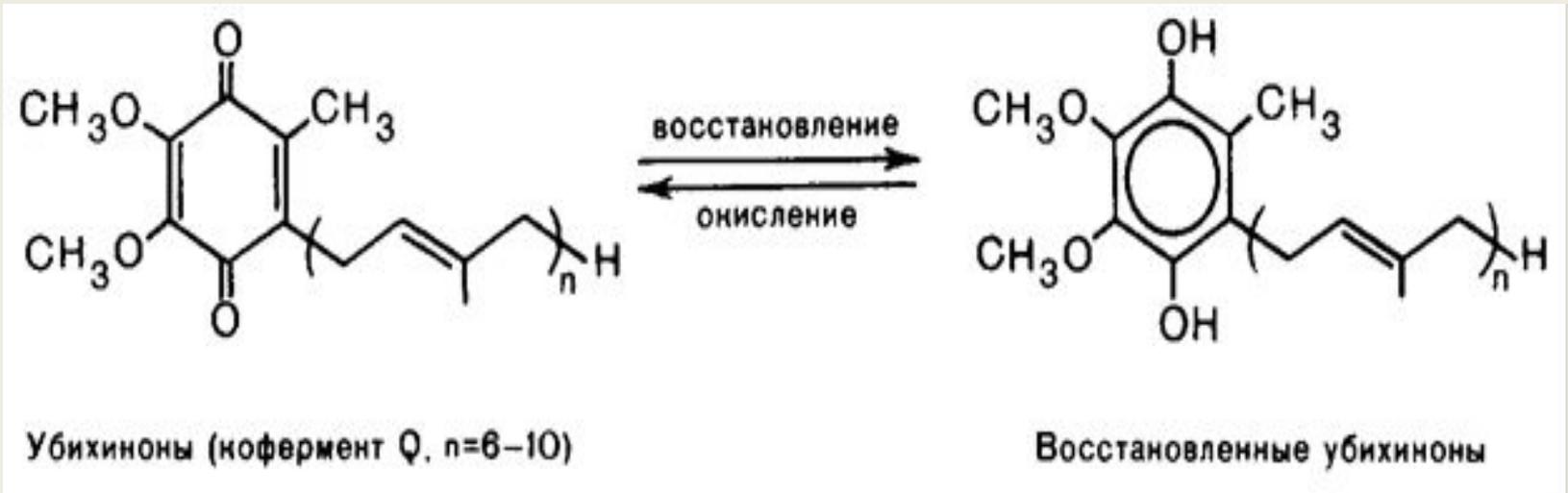
Особую группу терпенов составляют каротиноиды – растительные пигменты.

## Функции каротиноидов:

- выполняют функции витаминов;
- участвуют в процессе фотосинтеза.

Представители терпенов –  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -каротины, предшественники витаминов группы А.

- К терпенам относятся и другие жирорастворимые витамины, такие как **витамины группы Е** (токоферолы), **витамины группы К**, а также **убихиноны**, способные к последовательному окислению (восстановлению) и выполняющие роль **переносчика восстановительных эквивалентов** в электрон-транспортной цепи митохондрий:



- СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

