

# ЛИПИДЫ

Лекция для студентов лечебного  
и педиатрического факультетов

# ПЛАН ЛЕКЦИИ

## **ХИМИЯ ЛИПИДОВ**

1. Определение, роль, классификация.
2. Характеристика простых и сложных липидов.

## **ПЕРЕВАРИВАНИЕ ЛИПИДОВ В ЖКТ**

1. Роль липидов в питании.
2. Желчные кислоты. Эмульгирование.
3. Ферменты.
5. Всасывание продуктов гидролиза.
6. Особенности у детей.
7. Ресинтез.

## **НАРУШЕНИЕ ПЕРЕВАРИВАНИЯ И ВСАСЫВАНИЯ**

Стеаторея.

Липиды - биомолекулы,  
характеризующиеся  
различной растворимостью в  
органических растворителях и  
нерастворимые в воде.



# **КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИПИДОВ**

# Функции липидов:

- Субстратно-энергетическая
- Структурная (компонент биомембран)
- Транспортная (липопротеины)
- Передача нервного импульса
- Электроизолирующая (миелиновое волокно)
- Теплоизолирующая (низкая теплопроводность)
- Защитная
- Гормональная
- Витаминная

## По химическому строению

### **1. Простые:**

- 1) триацилглицерины (нейтральный жир) - ТГ , ТАГ
- 2) воски

### **2. Сложные:**

- 1) фосфолипиды – ФЛ
  - а) глицерофосфолипиды
  - б) сфингофосфолипиды
- 2) гликолипиды – ГЛ (цереброзиды, ганглиозиды, сульфатиды)
- 3) стероиды (стерины и стериды)

## По отношению к воде

**1. Гидрофобные** (образуют пленку на поверхности воды) - ТГ

**2. Амфифильные** образуют:

- а) билипидный слой – ФЛ, ГЛ (1 головка, 2 хвоста)
- б) мицеллу – МГ, Хс, ВЖК (1 головка, 1 хвост)

## По биологической роли

**1. резервные** (ТГ)

**2. структурные** – образуют биологические мембраны (ФЛ, ГЛ, Хс)

## **ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ –**

алифатические карбоновые кислоты, выполняющие роль мономеров (строительных блоков) для большинства классов липидов.

# Классификация жирных кислот

## Насыщенные (предельные)

общая формула  $C_n H_{2n+1} COOH$

масляная (4:0)  $C_3H_7COOH$

пальмитиновая (16:0)  $C_{15}H_{31}COOH$

стеариновая (18:0)  $C_{17}H_{35}COOH$



# Ненасыщенные (непредельные)

общая формула  $C_n H_{(2n+1)-2m} COOH$

## Мононенасыщенные:

пальмитоолеиновая (16:1)  $C_{15}H_{29} COOH$

олеиновая (18:1)  $C_{17}H_{33} COOH$

## Полиненасыщенные (витамин F):

линолевая (18:2)  $C_{17}H_{31} COOH (\omega-6)$

линоленовая (18:3)  $C_{17}H_{29} COOH (\omega-3)$

арахидоновая (20:4)  $C_{19}H_{31} COOH (\omega-6)$

# Роль полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК)

1. предшественники **эйкозаноидов** (простагландинов, тромбоксанов, лейкотриенов) - биологически активных веществ, синтезированных из ПНЖК с 20-ю углеродными атомами, выполняющих роль тканевых гормонов.
2. входят в состав фосфолипидов, гликолипидов.
3. способствуют выведению холестерина из организма.
4. Являются витамином F (омега 3, омега 6).



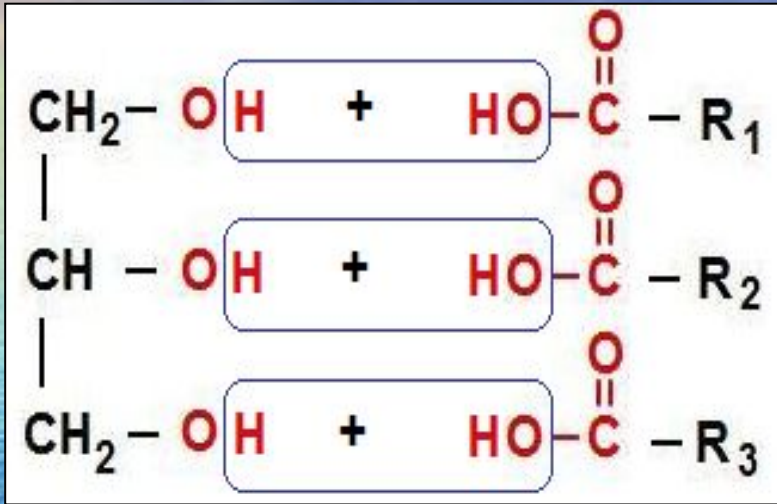
# **Характеристика простых липидов**

# ТРИГЛИЦЕРИДЫ (НЕЙТРАЛЬНЫЕ ЖИРЫ)

## Биологическая роль:

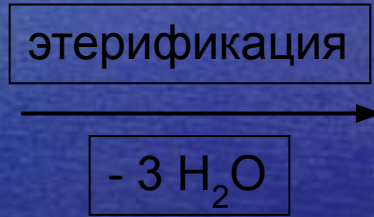
- энергетическая (резервная) 1г – 39,1 кДж или 9,3 ккал
- теплоизолирующая,
- амортизирующая (механическая защита).



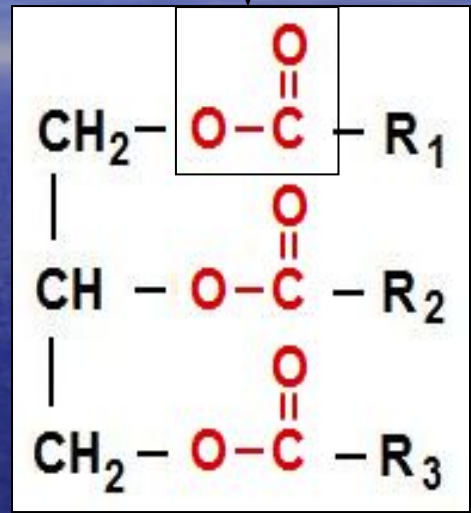


Глицерин

ВЖК  
(3 молекулы)



Сложная эфирная связь



Общая формула  
нейтрального  
жира

**Жир человеческий =**

глицерин + 2 ненасыщенных + 1 насыщенная ВЖК  
(диолеопальмитин)

**Жир животный =**

глицерин + 1 ненасыщенная + 2 насыщенных ВЖК  
(олеопальмитостеарин)

**Жир растительный =**

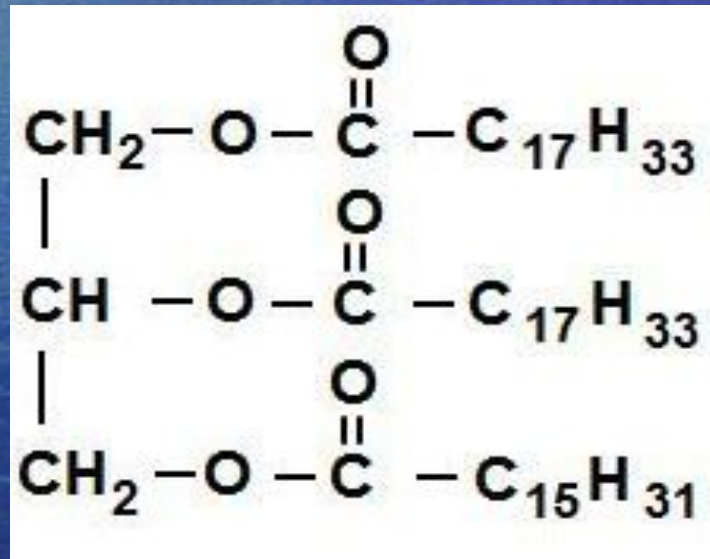
глицерин + 3 ненасыщенных ВЖК (триолеин)

Написать формулы молекулы нейтрального жира растительного, животного и человеческого происхождения самостоятельно.

# Человеческий жир

Содержит 2 мононенасыщенные и 1 насыщенную ВЖК

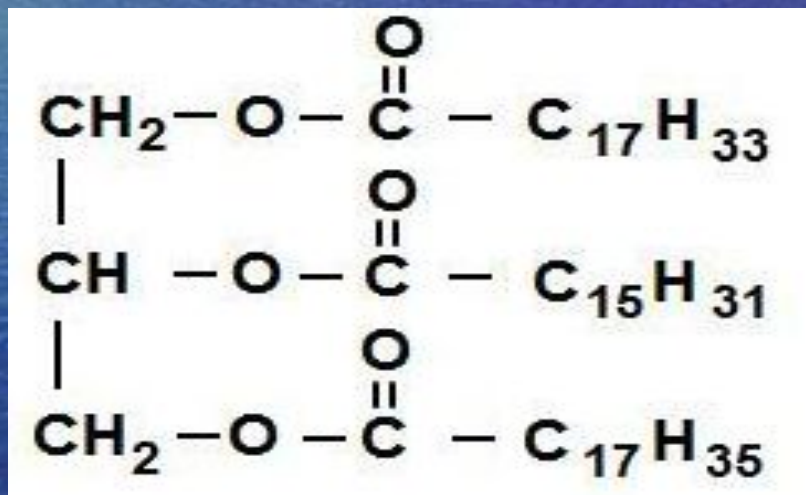
Пример: 1,2-диолеопальмитин



# Животный жир

Содержит 1 ненасыщенную и 2 насыщенных ВЖК

Пример: 1-олео-2-пальмитостеарин

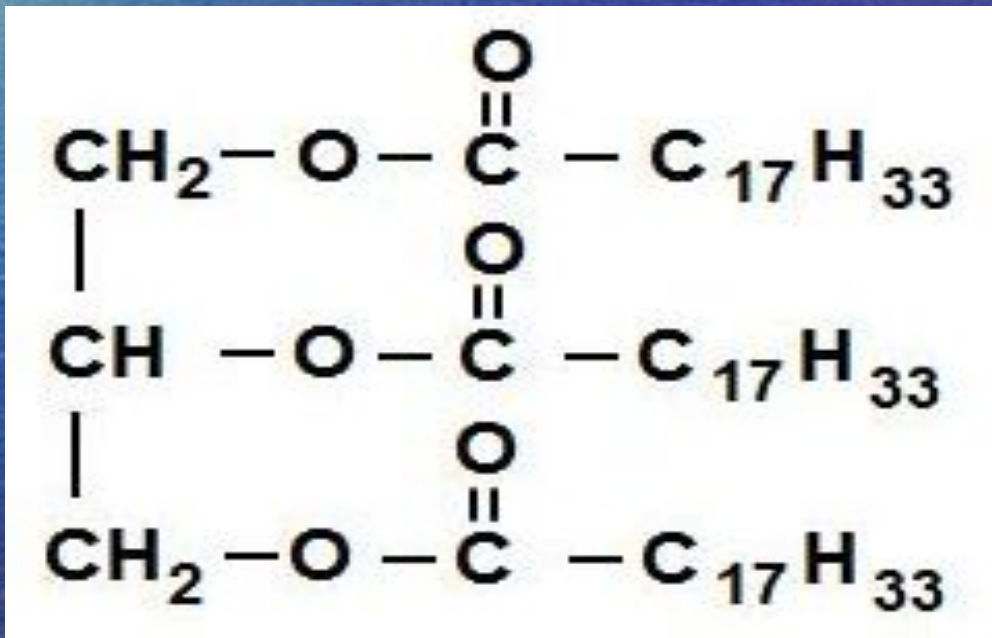




# Растительный жир

- Содержит 3 моно- или полиненасыщенных ВЖК.
- Чем выше степень ненасыщенности, тем ниже температура плавления.
- Растительные жиры называют маслами.

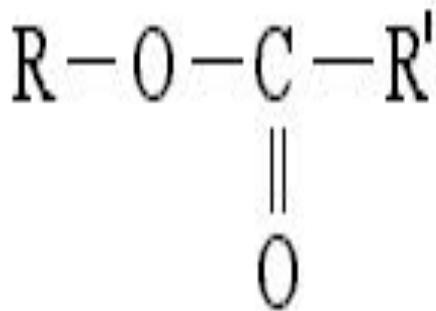
Пример: **Триолеин** (т.пл. – 17° С)



# ВОСКИ

сложные эфиры высших одно- или двухатомных спиртов и ВЖК

**Роль восков:** образуют защитную смазку на коже человека и животных, листьях и плодах растений.



# **Характеристика СЛОЖНЫХ ЛИПИДОВ:**

**1. Фосфолипиды**

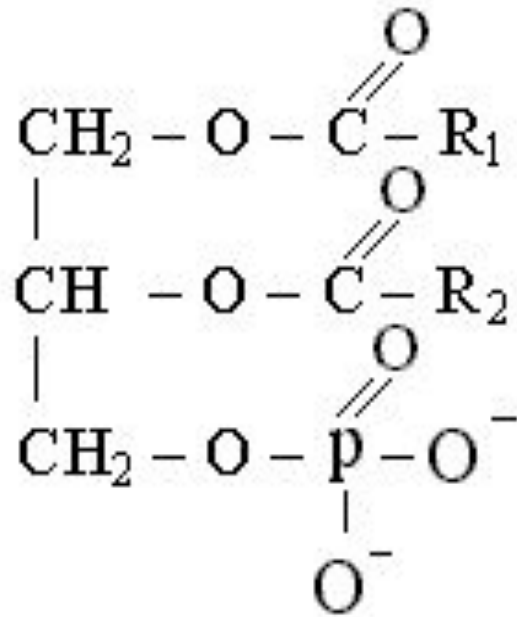
**2. Гликолипиды**

**3. Стерины и стериды**

# ФОСФОЛИПИДЫ

- **ГЛИЦЕРОФОСФОЛИПИДЫ**
- **СФИНГОФОСФОЛИПИДЫ**

# ГЛИЦЕРОФОСФОЛИПИДЫ - производные фосфатидной кислоты.



Фосфатидная кислота

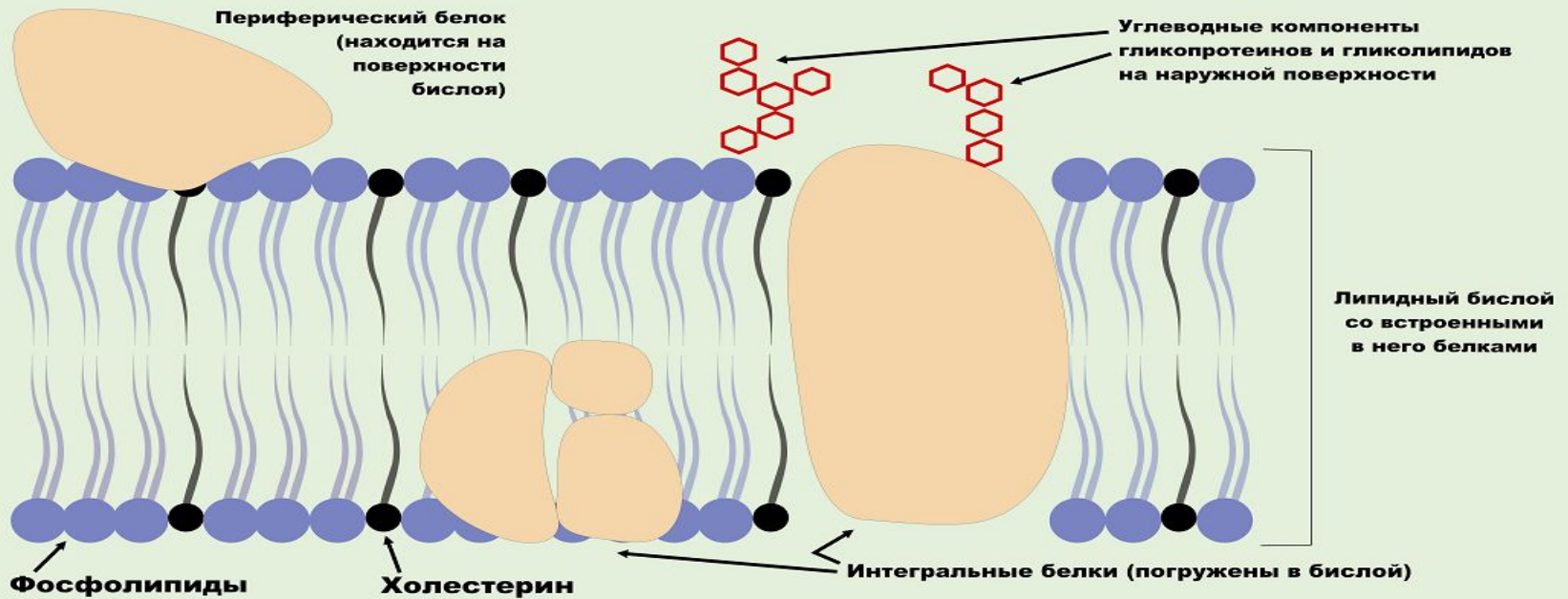
## **В состав глицерофосфолипидов входят:**

- глицерин
- ВЖК
- фосфорная кислота
- азотсодержащие соединения

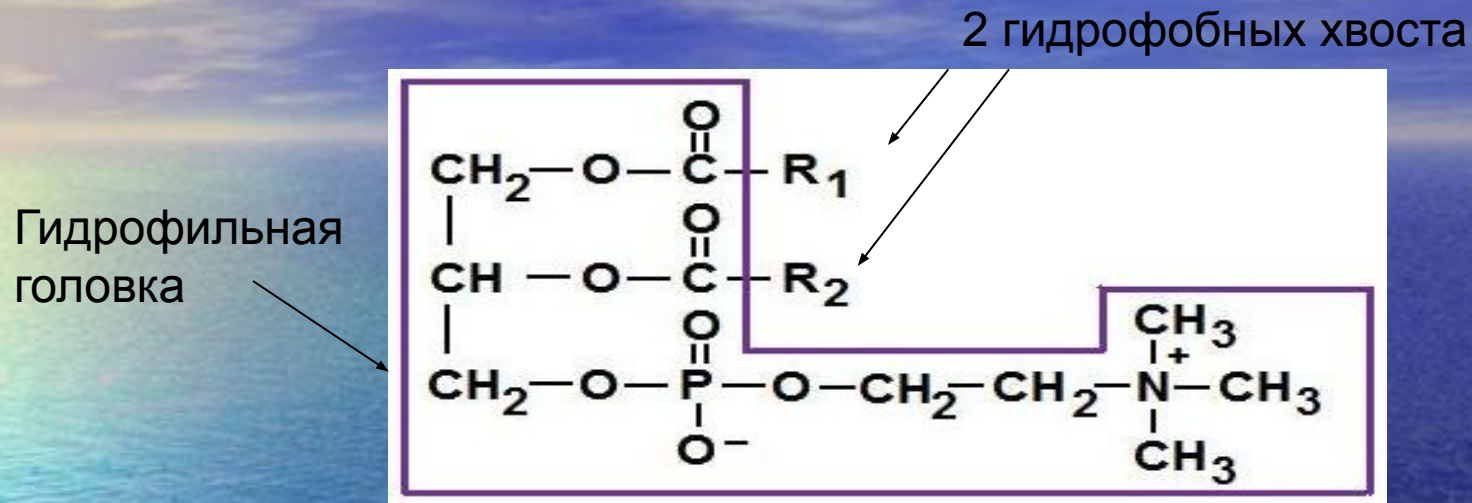
## **Биологическая роль глицерофосфолипидов:**

- Образуют биологические мембраны

# Схема строения биологической мембраны



# 1) ФОСФАТИДИЛХОЛИН (ЛЕЦИТИН)

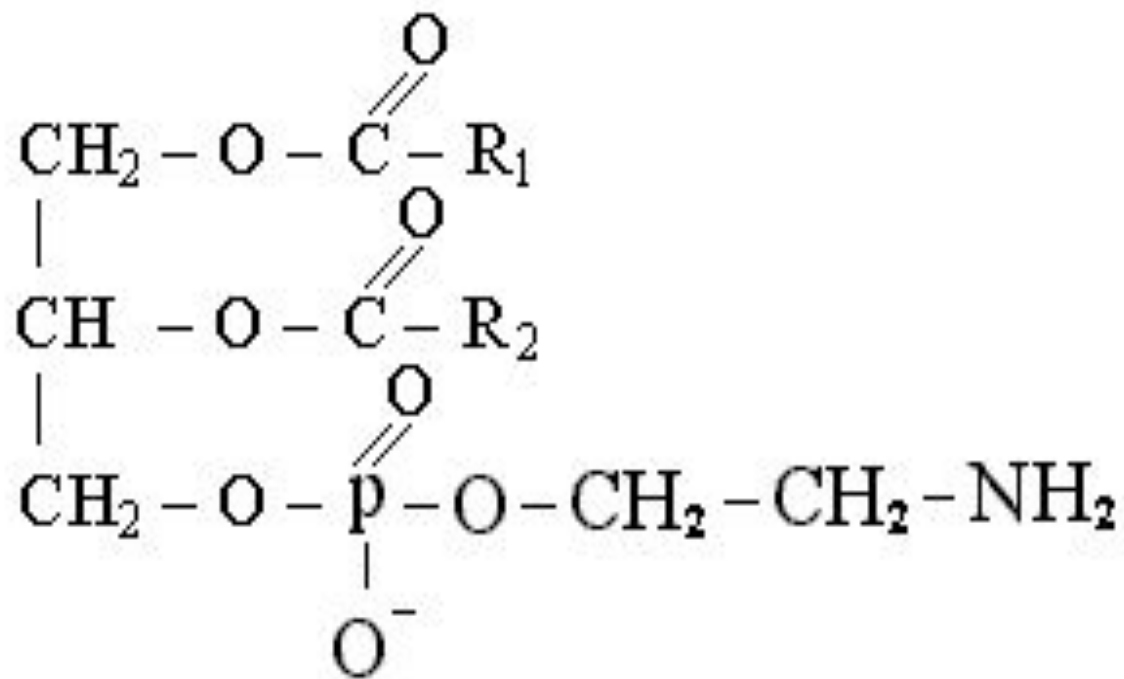


Гидрофильная  
головка

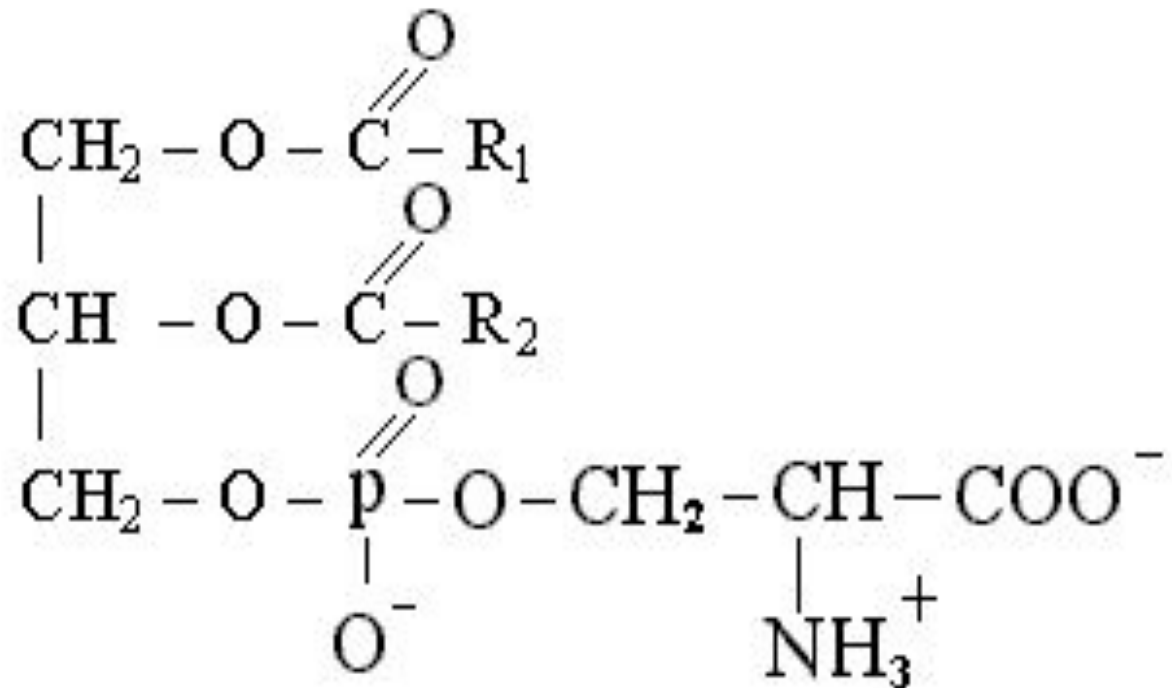
Гидрофобные хвосты



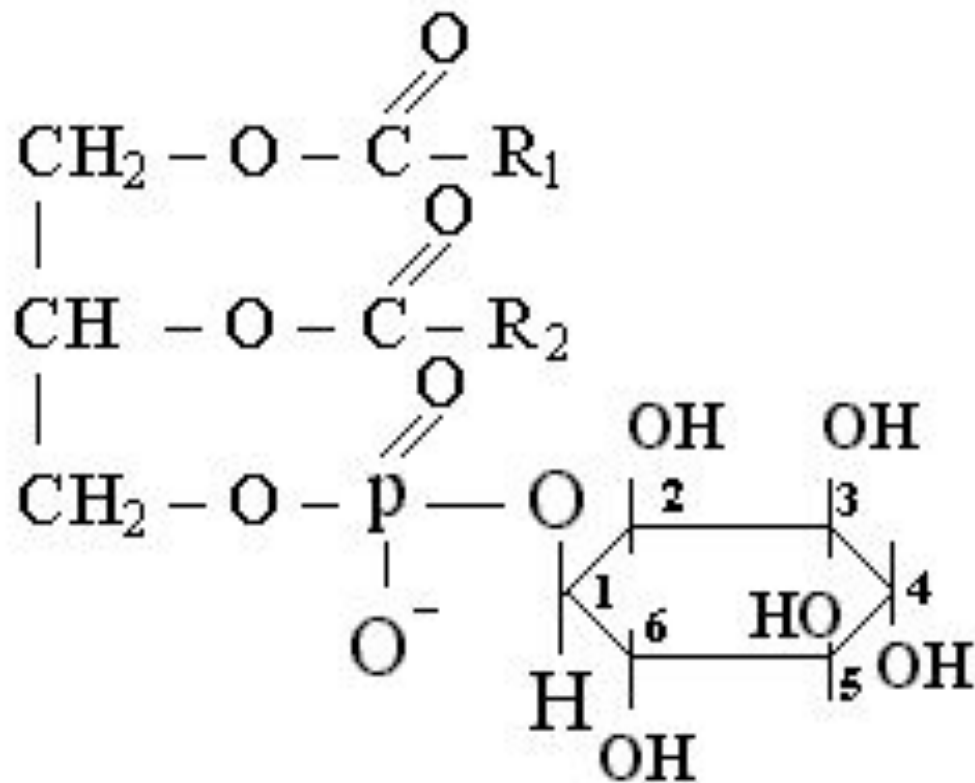
## 2) Фосфатидилэтаноламин (кефалин)



### 3) фосфатидилсерин

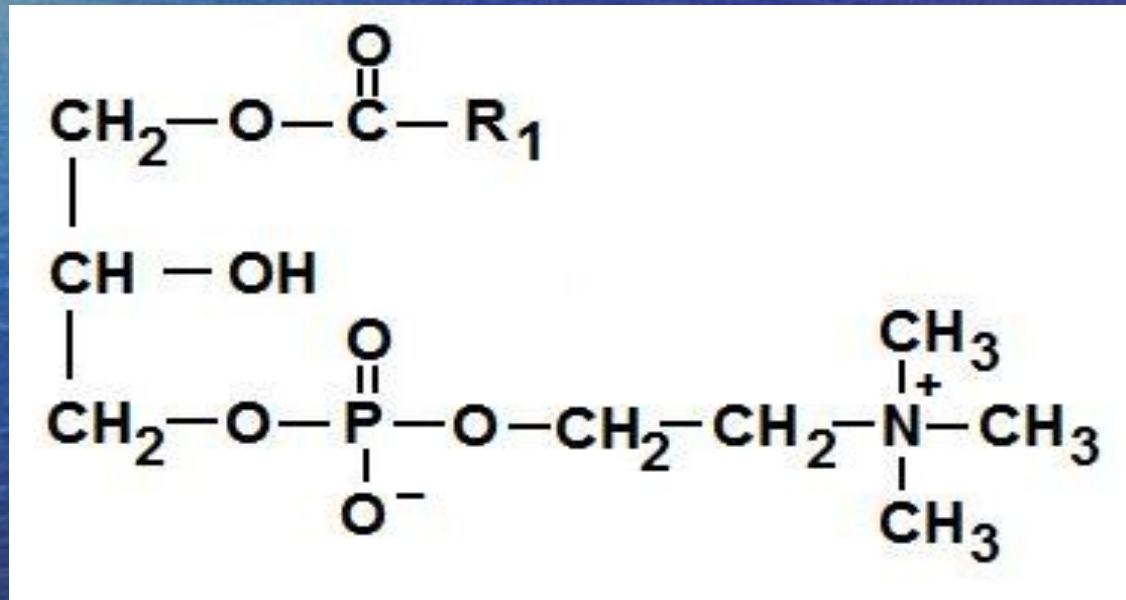


## 4) Фосфатидилинозитол



# Лизофосфолипиды

- Содержат свободную гидроксильную группу при 2-м атоме глицерина.
- Образуются при действии фосфолипазы  $A_2$ .
- Мембраны, в которых образуются лизофосфолипиды, становятся проницаемы для воды, поэтому клетки набухают и разрушаются.  
(Гемолиз эритроцитов при укусе змей, яд которых содержит фосфолипазу  $A_2$ )



Лизофосфатидилхолин (лизолецитин)

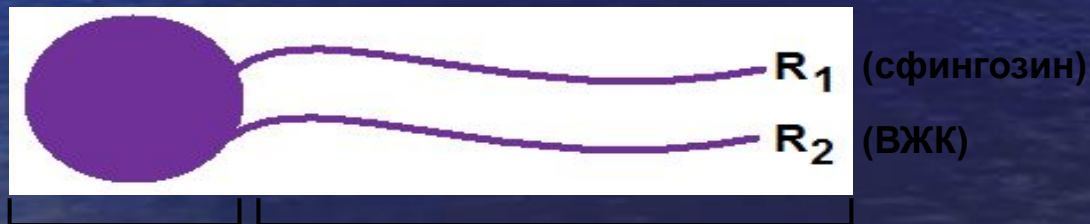
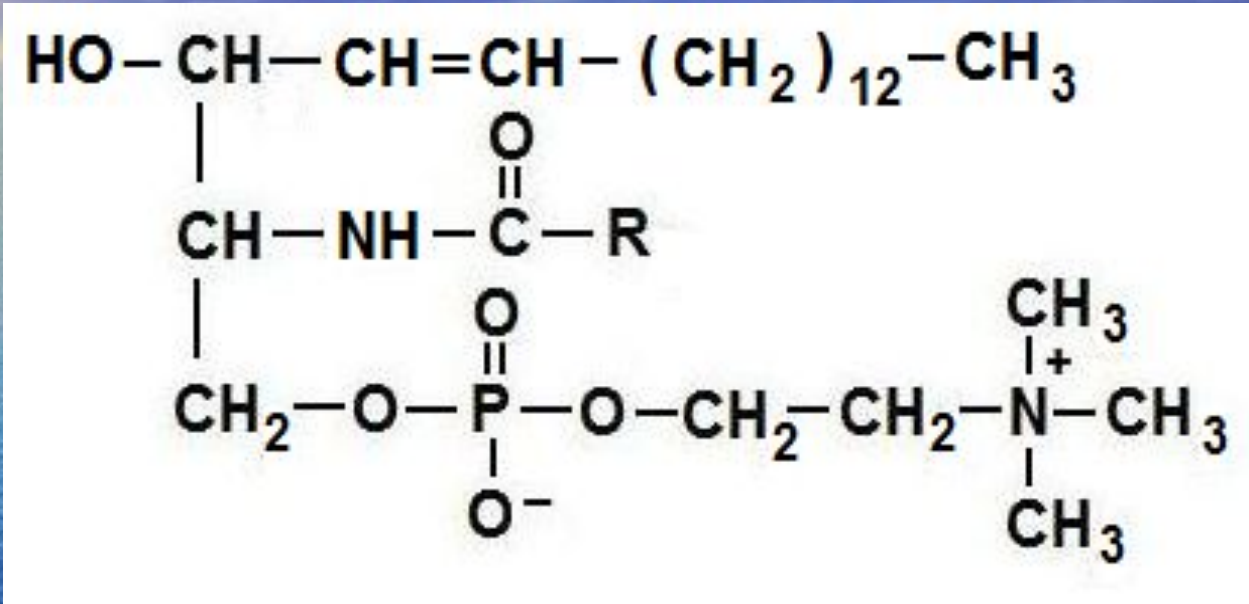
# сфингофосфолипиды

**Состоят из:**

- спирта сфингозина (многоатомный ненасыщенный аминоспирт)
- ВЖК
- фосфорной кислоты
- холина

**Представитель**  $\dashv$  сфингомиелин (в состав миелиновой оболочки)

# Сфингомиелины



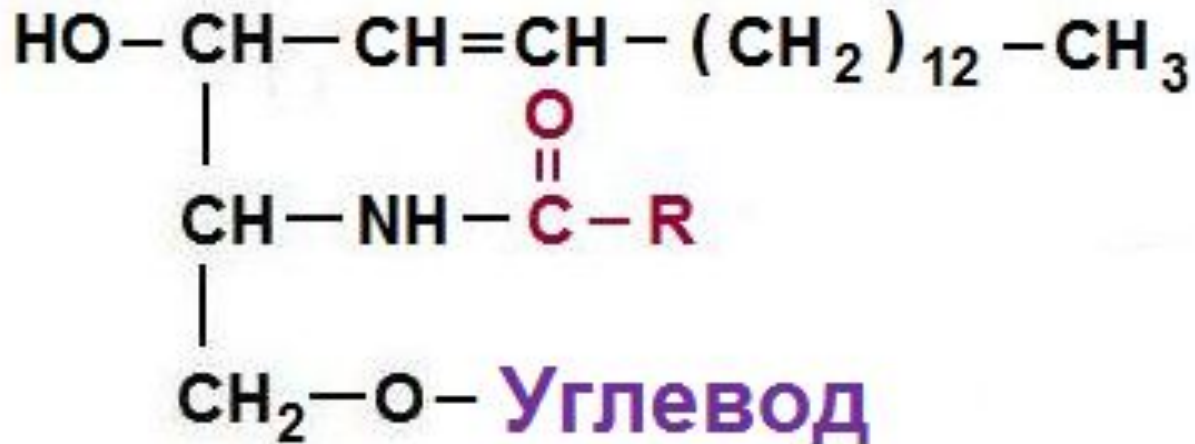
Гидрофильная  
головка

Гидрофобные хвосты

# ГЛИКОЛИПИДЫ

цереброзиды	сульфатиды	ганглиозиды
1. сфингозин	1. сфингозин	1. сфингозин
2. ВЖК	2. ВЖК	2. ВЖК
3. Гексоза (галактоза)	3. Гексоза	3. олигосахарид
	4. Остаток серной кислоты	4. Сиаловая кислота

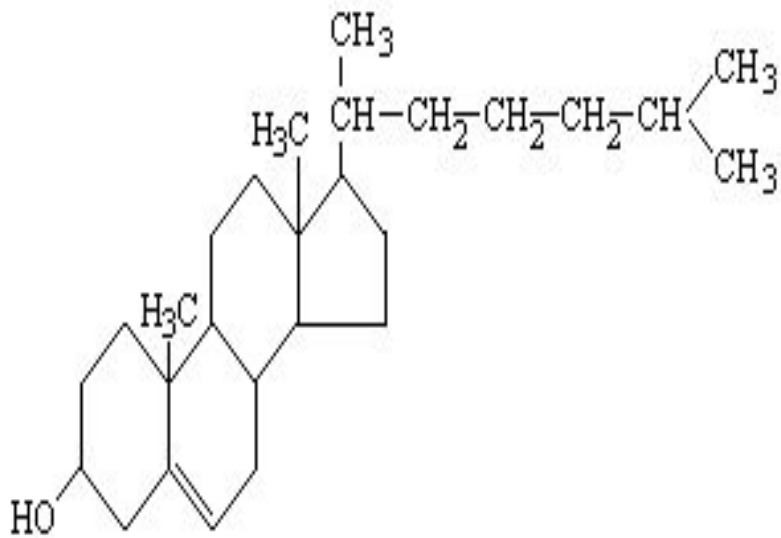
# Схема строения гликолипида



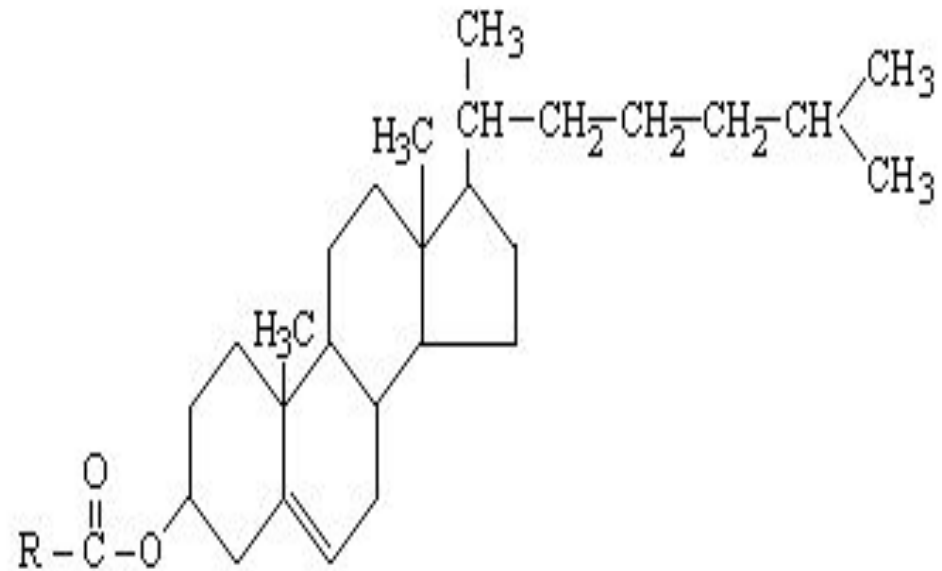


# СТЕРИНЫ И СТЕРИДЫ – производные циклопентанпергидрофенантрена

**ХОЛЕСТЕРИН**



**ЭФИРЫ ХОЛЕСТЕРИНА  
(ХОЛЕСТЕРИД)**



## **II. ПЕРЕВАРИВАНИЕ ЛИПИДОВ В ЖКТ**

1. Роль липидов в питании
2. Желчные кислоты: образование, строение, парные желчные кислоты, роль.
3. Схема эмульгирования.
4. Ферменты переваривания: поджелудочная липаза, химизм действия липазы на триглицерид; фосфолипазы, холестеролэстераза.
5. Всасывание продуктов гидролиза липидов.
6. Особенности переваривания липидов у детей.
7. Ресинтез триглицеридов и фосфолипидов в стенке кишечника.

## **III. НАРУШЕНИЕ ПЕРЕВАРИВАНИЯ И ВСАСЫВАНИЯ**

1. Стеаторея: причины, виды (гепатогенная, панкреатогенная, энтерогенная).

# РОЛЬ ЛИПИДОВ В ПИТАНИИ

1. Липиды пищи на 99% представлены триглицеридами.
2. Липиды поступают с такими продуктами питания как растительное масло - 98 %, молоко - 3 %, сливочное масло - 70-80 % и др.
3. Суточная потребность в липидах = 80 г/сут (50 г животн. +30 г растит.).
4. За счет жиров обеспечивается 40-50 % суточной потребности в энергии.
5. Незаменимый компонент питания - полиненасыщенные ВЖК (эссенциальные), т.н. витамин F - это комплекс линолевой, линоленовой и арахидоновой кислот. Суточная потребность витамина F = 3-16 г.
6. Липиды пищи служат растворителями для жирорастворимых витаминов А, Д, Е, К.
7. Высокое потребление насыщенных жиров повышает риск развития атеросклероза. Поэтому с возрастом животные жиры заменяют на растительные.
8. Повышают вкусовые качества пищи и обеспечивают насыщение.

# ПЕРЕВАРИВАНИЕ ЛИПИДОВ В ЖКТ

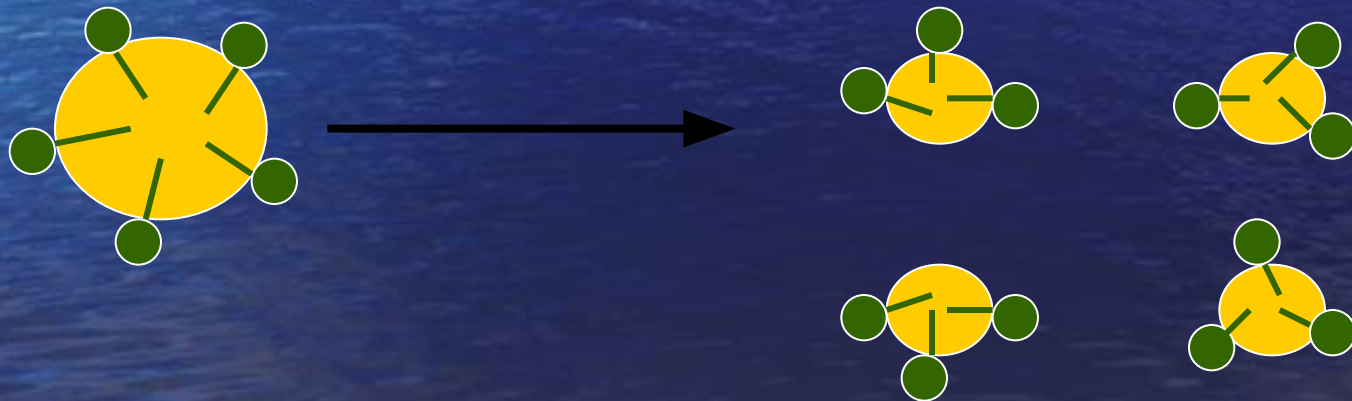
- В полости рта не перевариваются.
- В желудке только у детей (желудочная липаза действует только на эмульгированные жиры молока, оптимум pH 5,5-7,5).
- В тонком кишечнике: 1) эмульгирование, 2) ферментативный гидролиз.

## Факторы эмульгирования

1. желчные кислоты
2. CO<sub>2</sub>
3. клетчатка
4. перистальтика
5. полисахариды
6. соли жирных кислот (т.н. мыла)

- Механизм эмульгирования – снижение поверхностного натяжения капли жира
- Цель эмульгирования – увеличение площади соприкосновения молекул жира с молекулами ферментов

Схема эмульгирования:



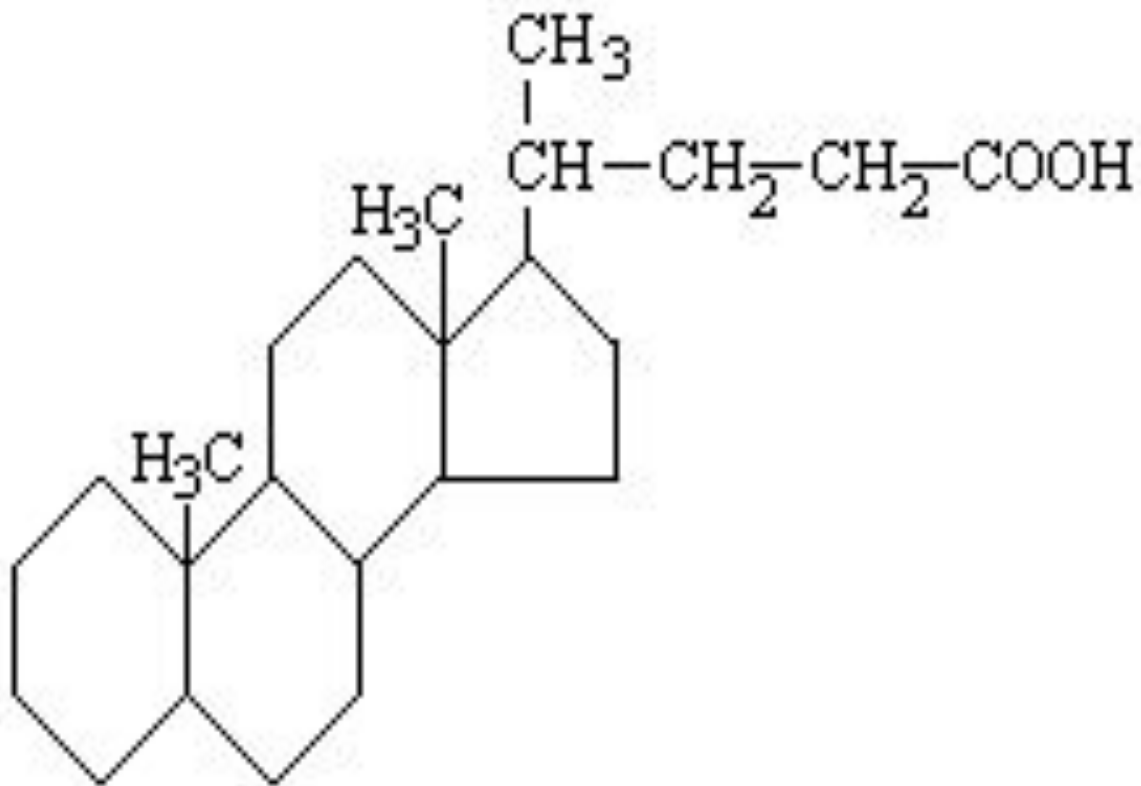
# **ЖЕЛЧНЫЕ КИСЛОТЫ – это производные холановой кислоты**

- Образуются в печени из холестерина
- Секретируются с желчью
- Циркулируют до 10 раз

## **РОЛЬ ЖЕЛЧНЫХ КИСЛОТ**

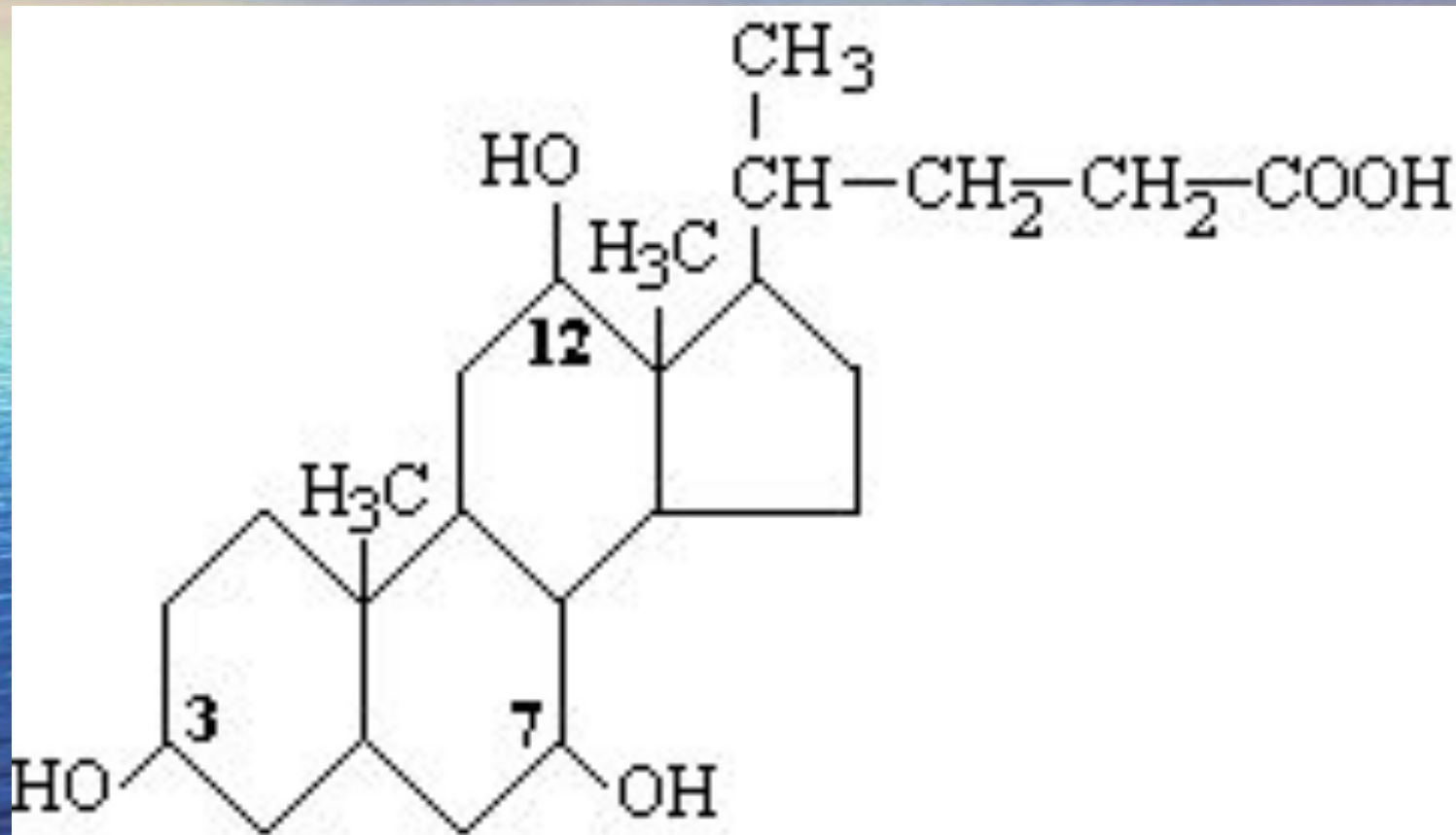
- 1) ЭМУЛЬГИРУЮТ ЖИРЫ
- 2) АКТИВИРУЮТ ЛИПАЗУ
- 3) ОБРАЗУЮТ ХОЛЕИНОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ВСАСЫВАНИЯ (ВЖК, МГ, Хс, витамины А, Д, Е, К)

# ХОЛАНОВАЯ КИСЛОТА



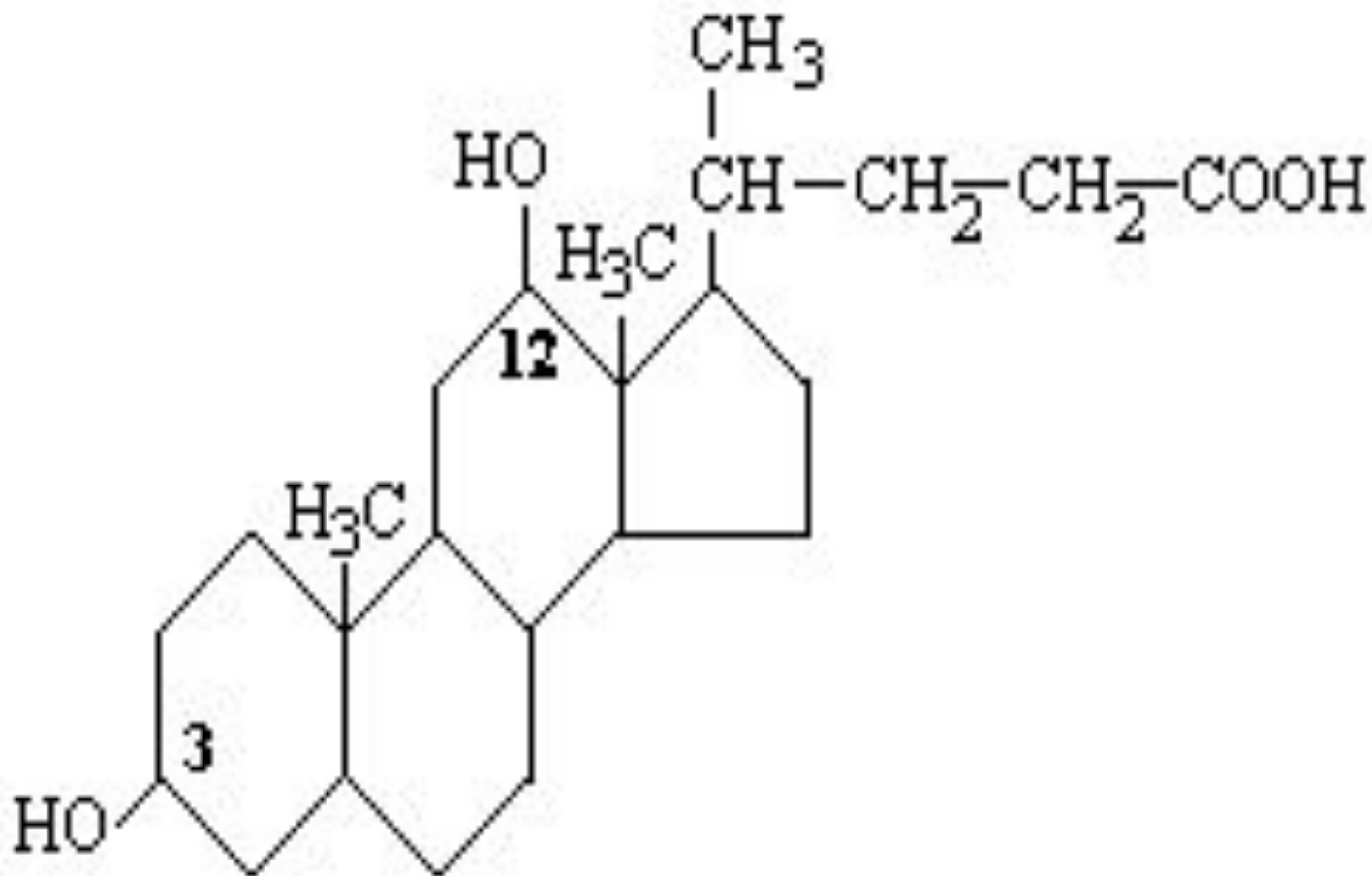
# ХОЛЕВАЯ КИСЛОТА

(-ОН в положении 3, 7, 12)

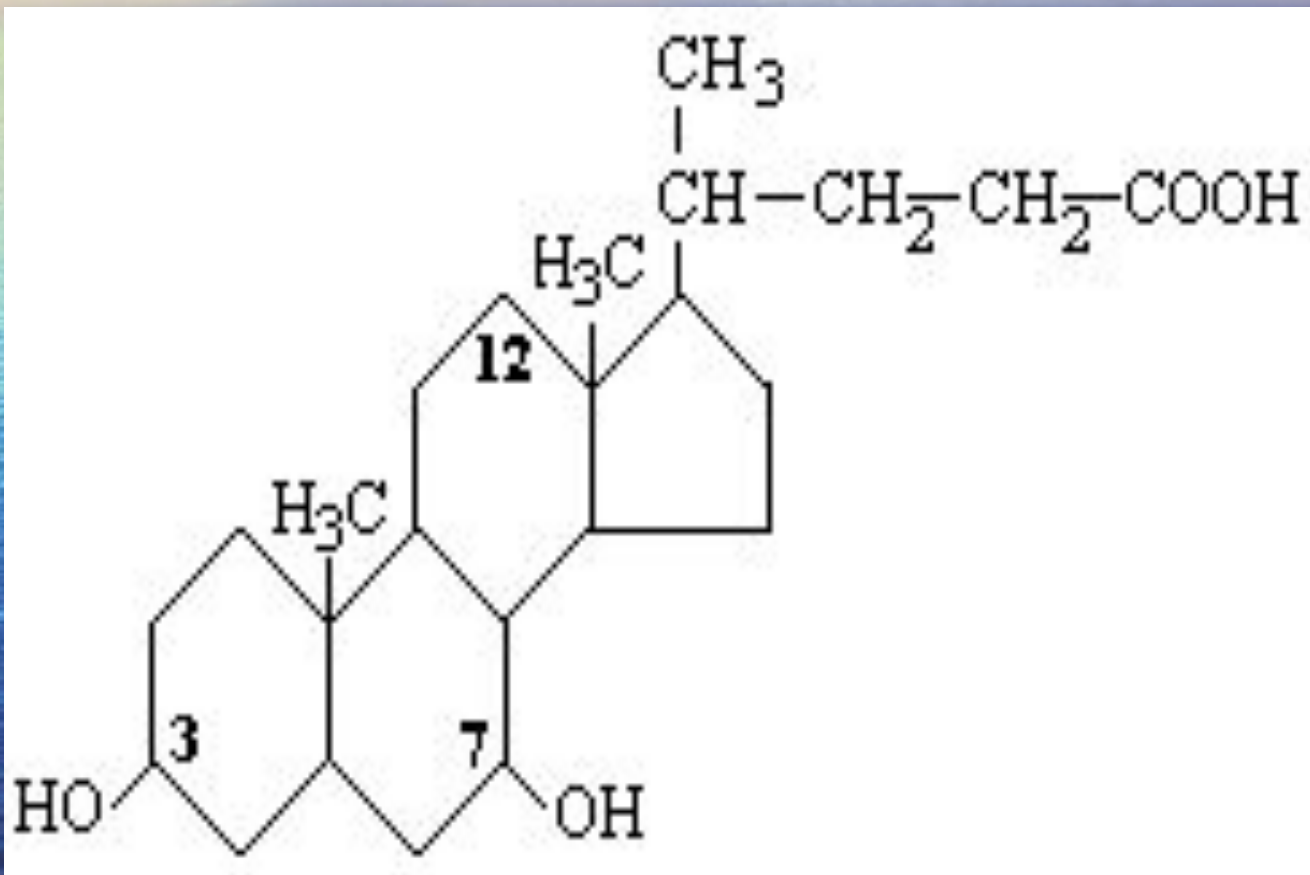




# Дезоксихолеваая кислота (-ОН в положении 3, 12)



# Хенодезоксихолеваая кислота (-ОН в положении 3, 7)



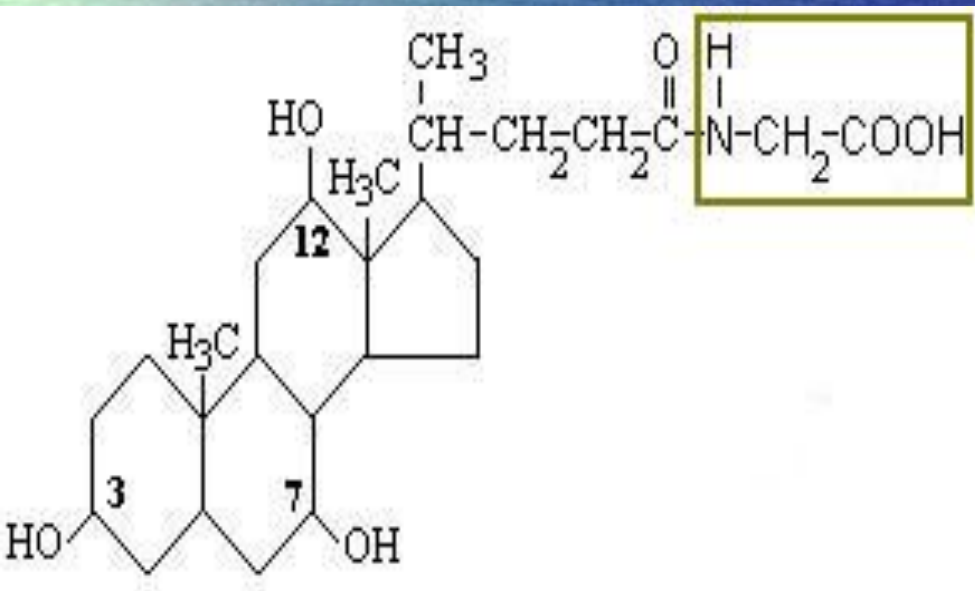
# ПАРНЫЕ ЖЕЛЧНЫЕ КИСЛОТЫ

СОСТОЯТ ИЗ ДВУХ КОМПОНЕНТОВ:

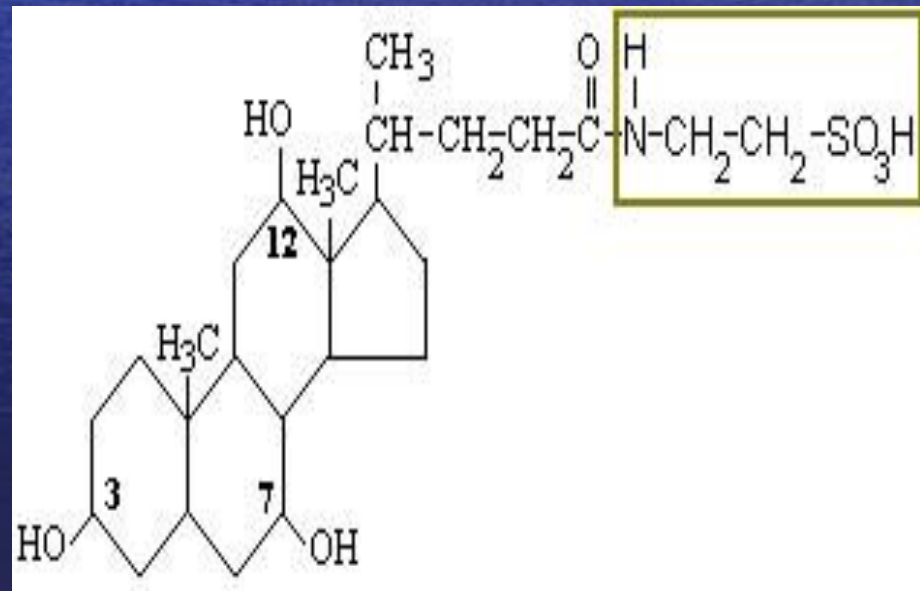
- ЖЕЛЧНОЙ КИСЛОТЫ
- ГЛИЦИНА

или

ТАУРИНА



Гликохолевая



Таурохолевая

# Ферментативный гидролиз пищевых липидов

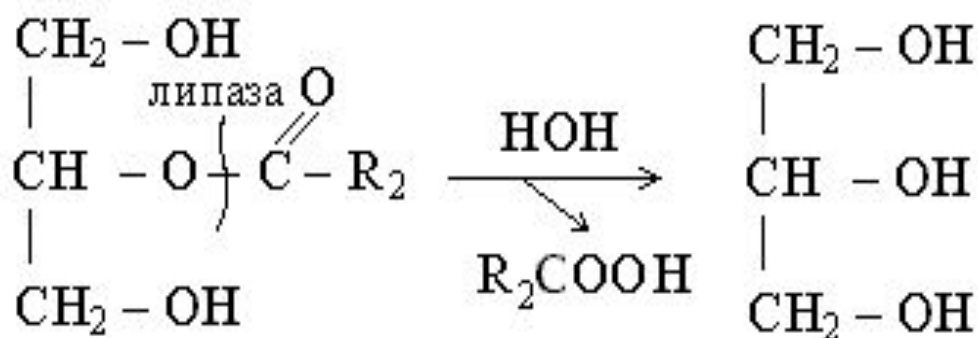
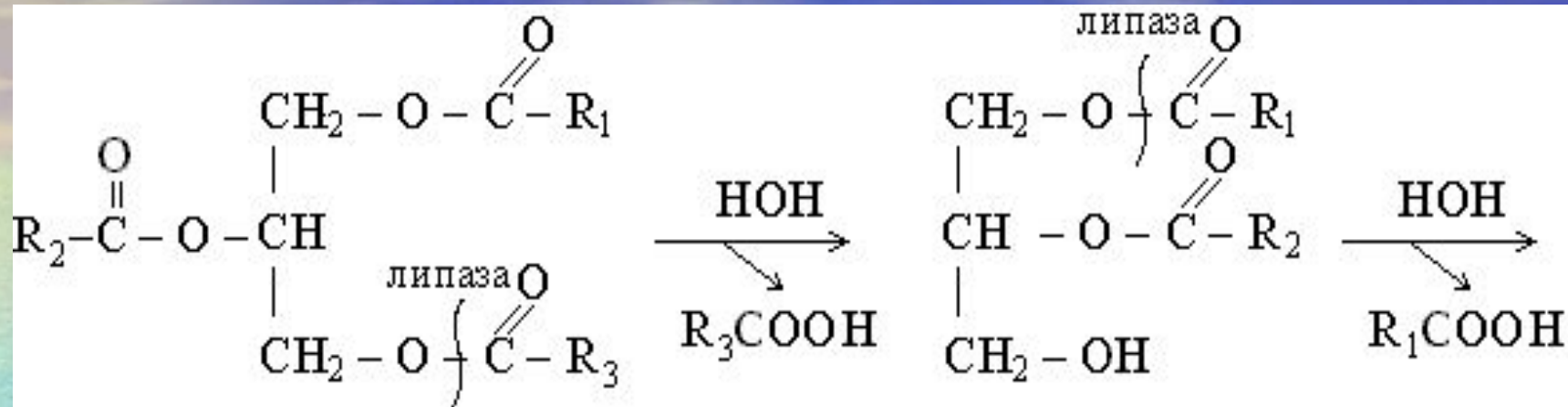
Панкреатический сок содержит ферменты  
переваривания липидов

- 1) Панкреатическую липазу
- 2) Фосфолипазы
- 3) холестеролэстеразу

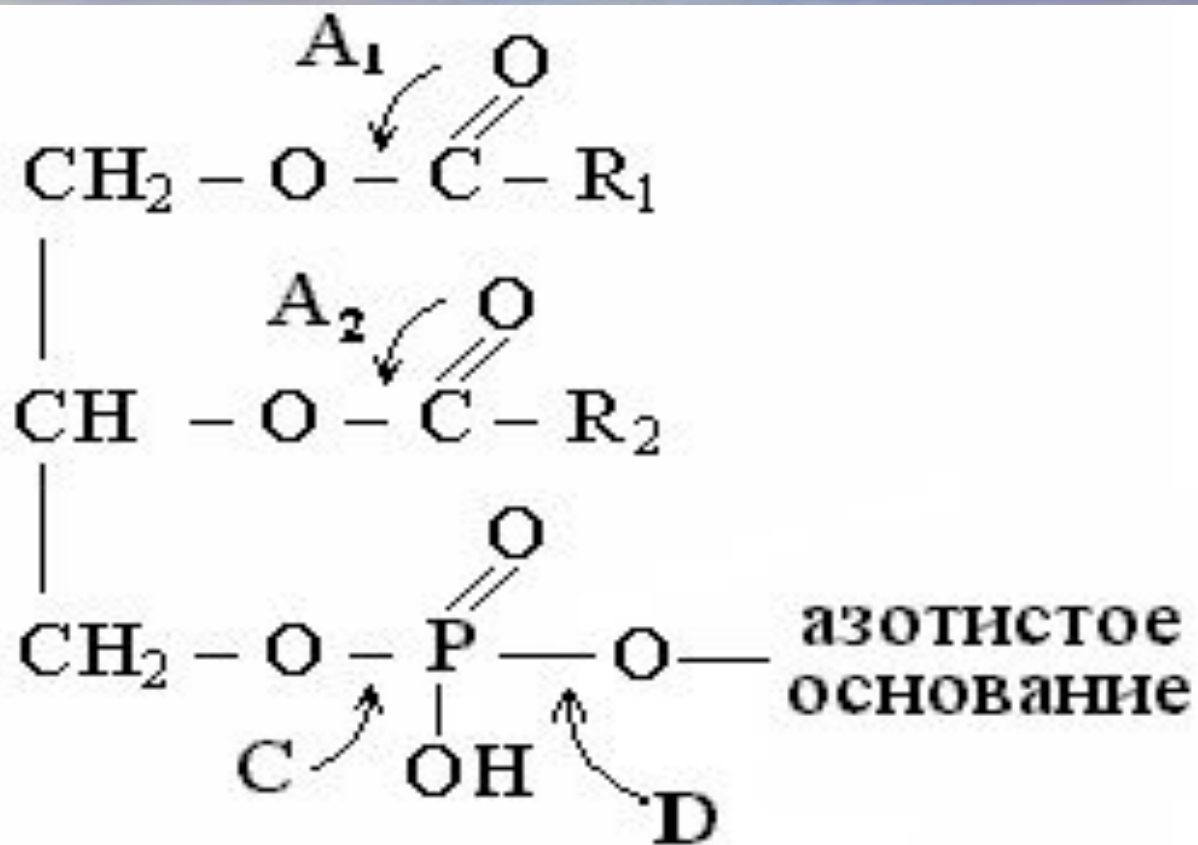
# Панкреатическая липаза

- Оптимум pH 7-8
- Активируется желчными кислотами
- Действует только на эмульгированные жиры (на поверхности раздела фаз жир/вода)

# ГИДРОЛИЗ НЕЙТРАЛЬНОГО ЖИРА

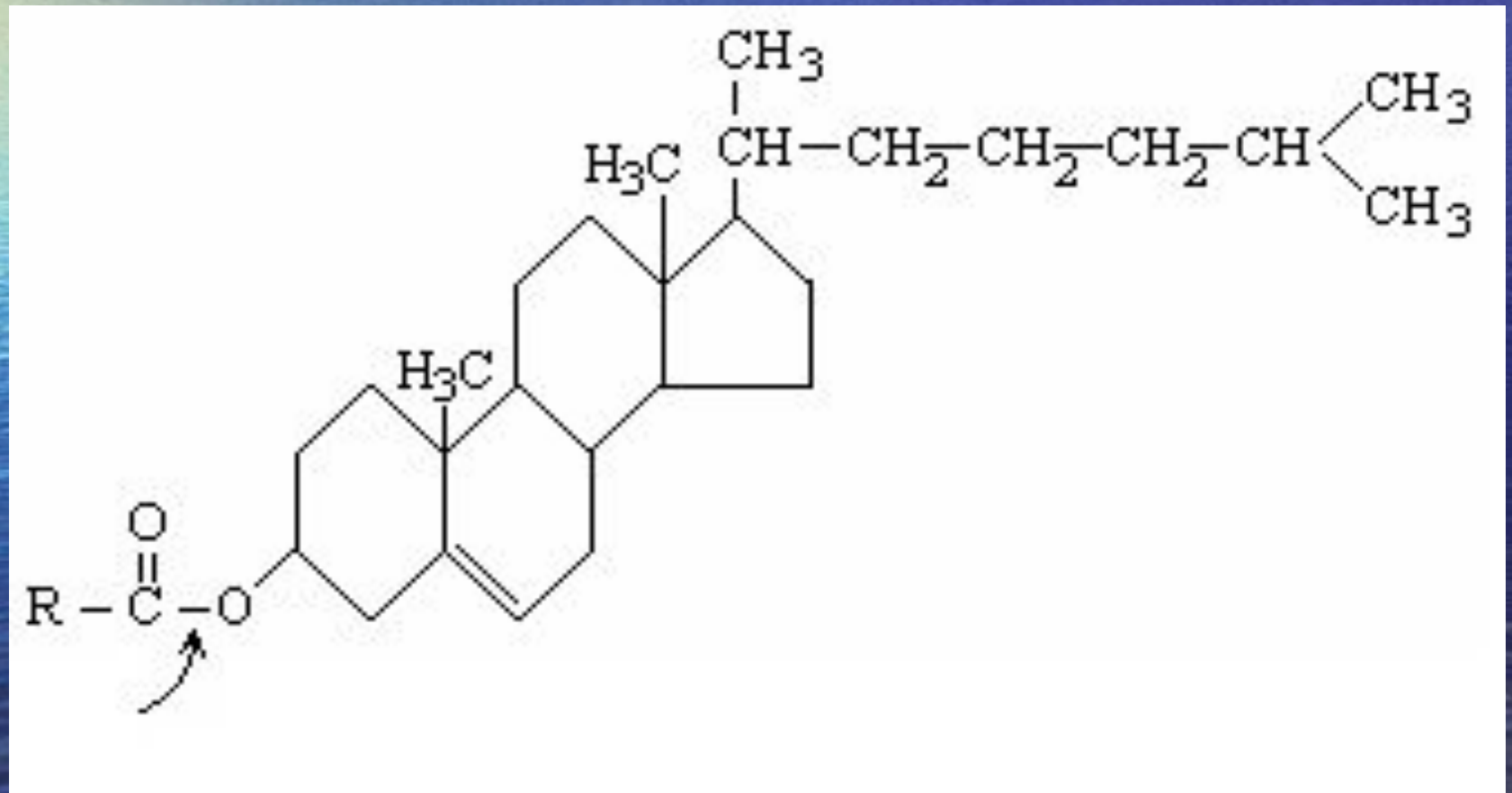


## 2) ФОСФОЛИПАЗЫ



### 3) холестеролэстераза

ГИДРОЛИЗУЕТ ЭФИРЫ ХОЛЕСТЕРИНА НА  
ХОЛЕСТЕРИН И ВЖК





# Кишечный сок

Содержит кишечную липазу, которая

- малоактивна
- гидролизует преимущественно моноглицериды

# ВСАСЫВАНИЕ ПРОДУКТОВ ГИДРОЛИЗА ПИЩЕВЫХ ЛИПИДОВ

1. В СОСТАВЕ ХОЛЕИНОВЫХ КОМПЛЕКСОВ  
(МИЦЕЛЛ):

- ВЖК (с числом углеродных атомов больше 10)
- моноацилглицериды
- холестерин
- жирорастворимые витамины А, Д, Е, К

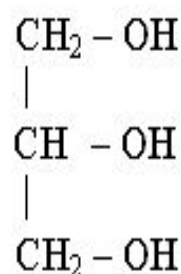
2. Диффузией: глицерин, ВЖК (с числом углеродных атомов меньше 10).

3. Пиноцитоз.

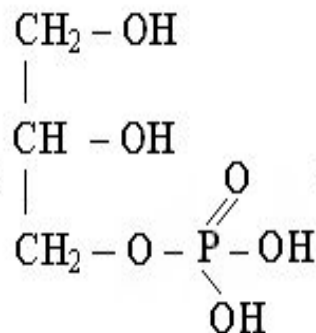
# Ресинтез нейтрального жира в кишечной стенке

- Синтез жира, свойственного человеку из моноглицеридов или глицерина и ВЖК

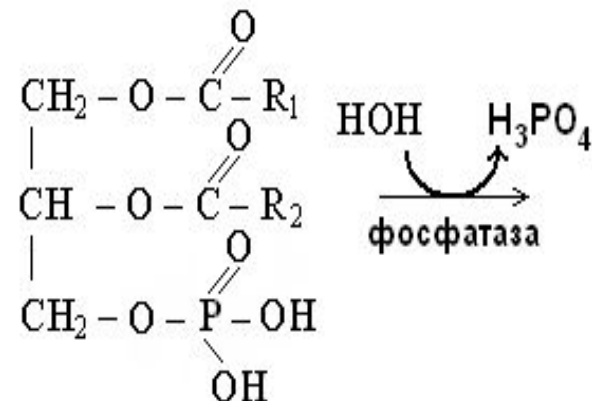
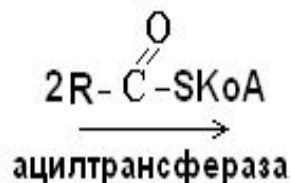
# Ресинтез нейтрального жира



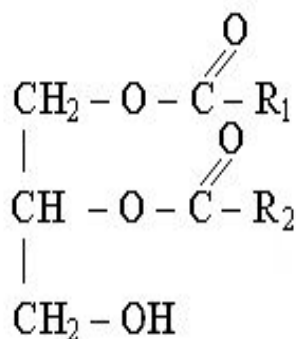
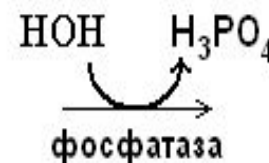
глицерин



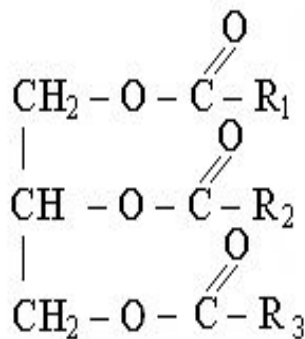
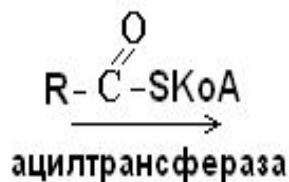
глицерол-3-фосфат



фосфатидная кислота



диглицерид



триглицерид

# Ресинтез фосфолипидов

До образования диглицерида реакции протекают аналогично реакциям ресинтеза триглицеридов.

Далее

ДГ + ЦДФ-холин  $\square$  фосфатидилхолин

# НАРУШЕНИЕ ПЕРЕВАРИВАНИЯ И ВСАСЫВАНИЯ

Всегда сопровождаются стеатореей – обнаружение не переваренного нейтрального жира в кале.

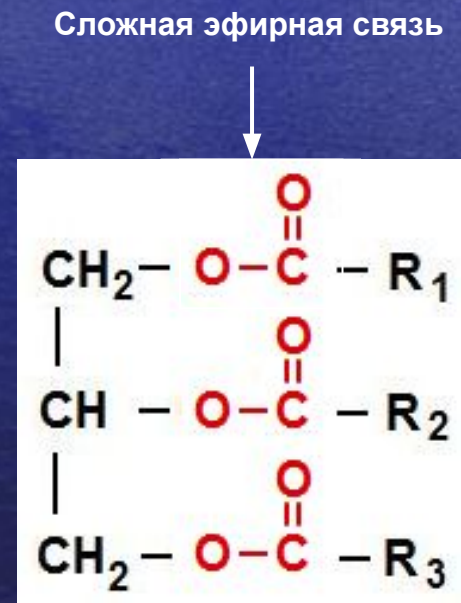
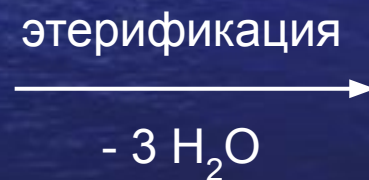
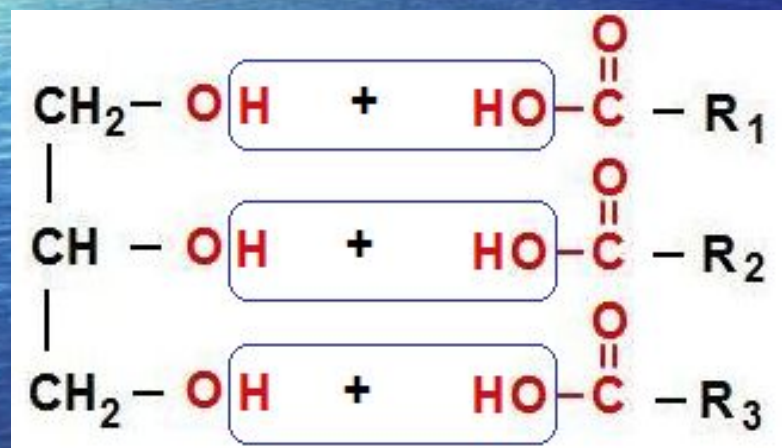
## Виды стеатореи:

1. Гепатогенная (при заболеваниях печени) – нарушается эмульгирование при механической желтухе, гепатитах, циррозе, врожденной атрезии желчевыводящих путей. В кале очень много ТГ, высокая концентрация солей ВЖК (мыл), особенно кальциевых. Кал ахоличен (мало желчных пигментов).
1. Панкреатогенная (при заболеваниях поджелудочной железы) – нарушается гидролиз при хронических панкреатитах, врожденной гипоплазии, муковизцидозе. В кале высокая концентрация ТГ, мало ВЖК, при нормальном рН и содержании желчных кислот.

3. Энтерогенная – нарушается всасывание продуктов гидролиза жиров при заболеваниях тонкого кишечника, обширной резекции тонкого кишечника, амилоидозах,  $\alpha$ -бета-липопротеинемии. В кале резко повышается содержание ВЖК, сдвиг pH в кислую сторону, желчные пигменты в норме.

- **Триацилглицерины** (триглицериды, нейтральные жиры) – сложные эфиры трёхатомного спирта глицерина и ВЖК.

Роль ТГ: энергетическая (запасающая), теплоизолирующая, амортизирующая (механическая защита).



Глицерин

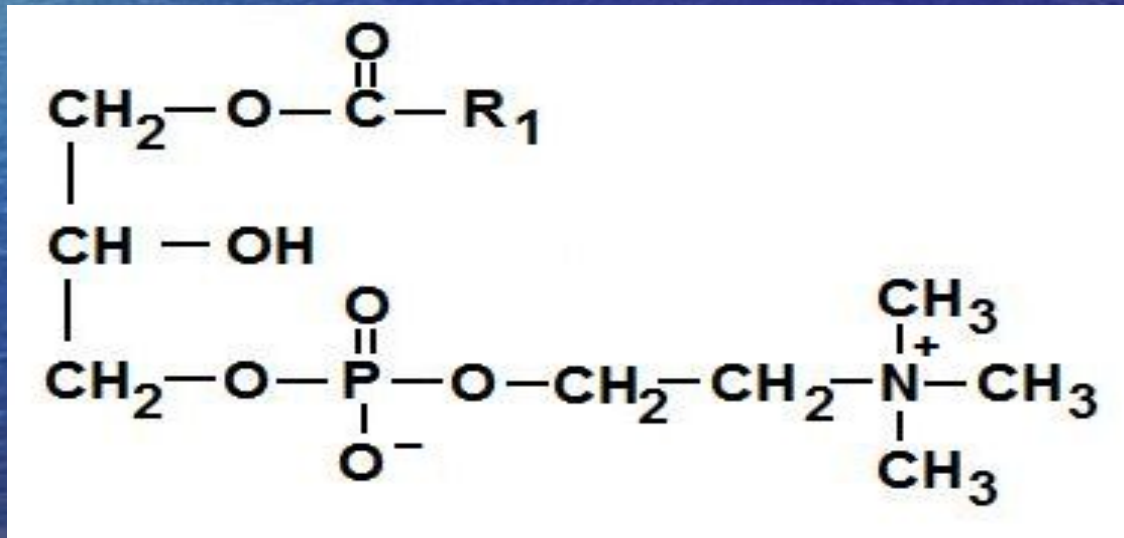
ВЖК  
(3 молекулы)

Общая формула жира



# Лизофосфолипиды

- Содержат свободную гидроксильную группу при 2-м атоме глицерина.
- Образуются при действии фосфолипазы В ( $A_2$ ).
- Мембраны, в которых образуются лизофосфолипиды, становятся проницаемы для воды, поэтому клетки набухают и разрушаются.  
(Гемолиз эритроцитов при укусе змей, яд которых содержит фосфолипазу В)



Лизофосфатидилхолин (лизолецитин)

# Гликолипиды

## Цереброзиды

Состав:  
Сфингозин  
+  
ВЖК  
+  
гексоза

## Ганглиозиды

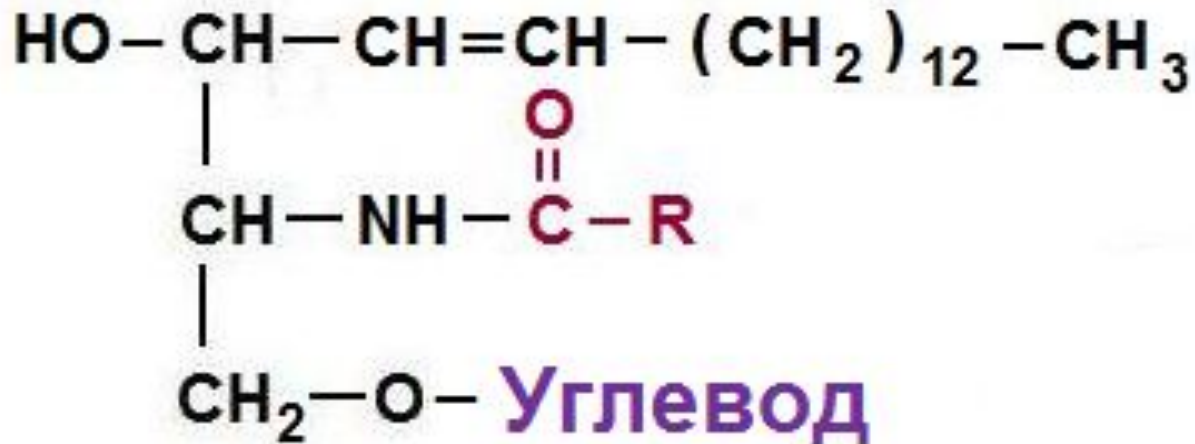
Состав:  
Сфингозин  
+  
ВЖК  
+  
Олигосахарид  
+  
Сиаловая  
кислота

## Сульфатиды

Состав:  
Сфингозин  
+  
ВЖК  
+  
Гексоза  
+  
сульфат

**Роль ГЛ:** структурная (образуют биологические мембраны)

# Схема строения гликолипида



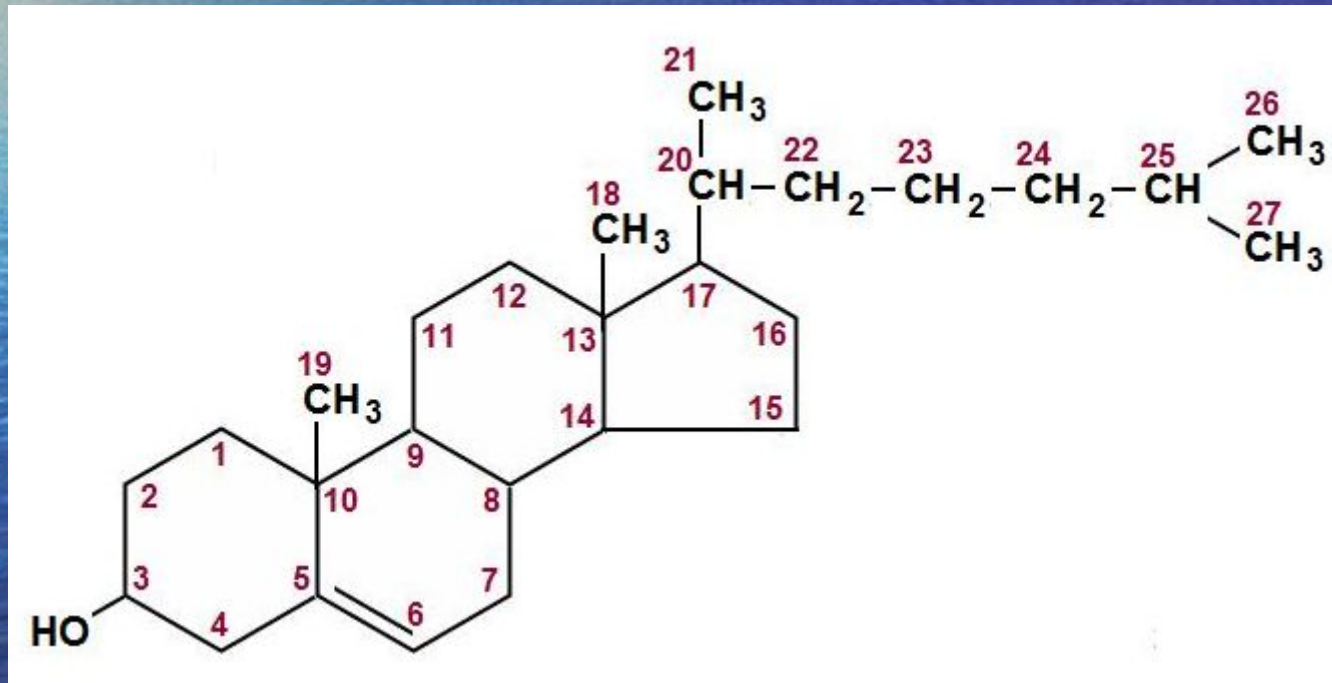
# Стероиды

-это производные цикlopentanпергидрофенантрена  
Классифицируются на:

**1) Стерины** – спирты стероидной природы.

Примеры: холестерин, жёлчные кислоты.

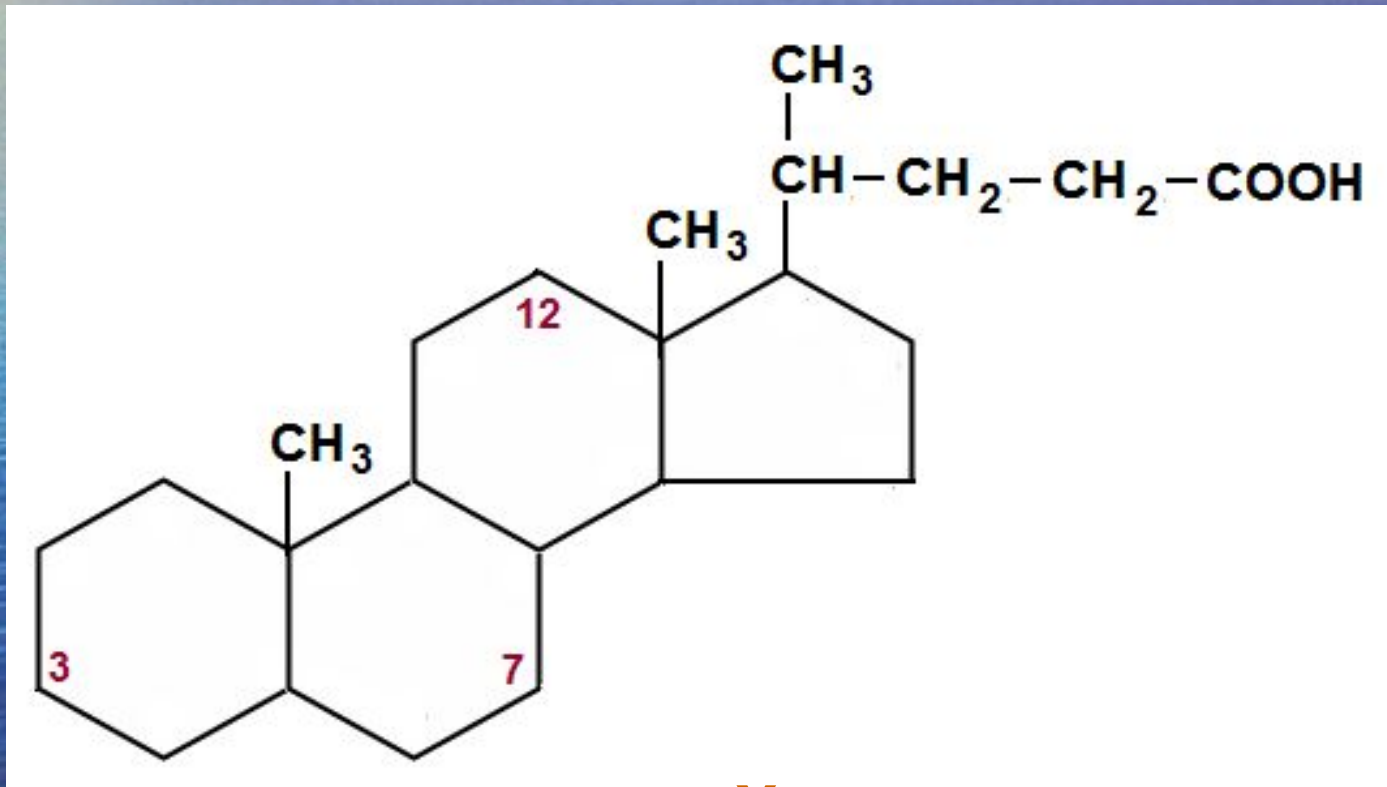
**2) Стериды** – сложные эфиры стеринов и ВЖК.



Холестерин

# Желчные кислоты

- это производные холановой кислоты,  
синтезируются из холестерина



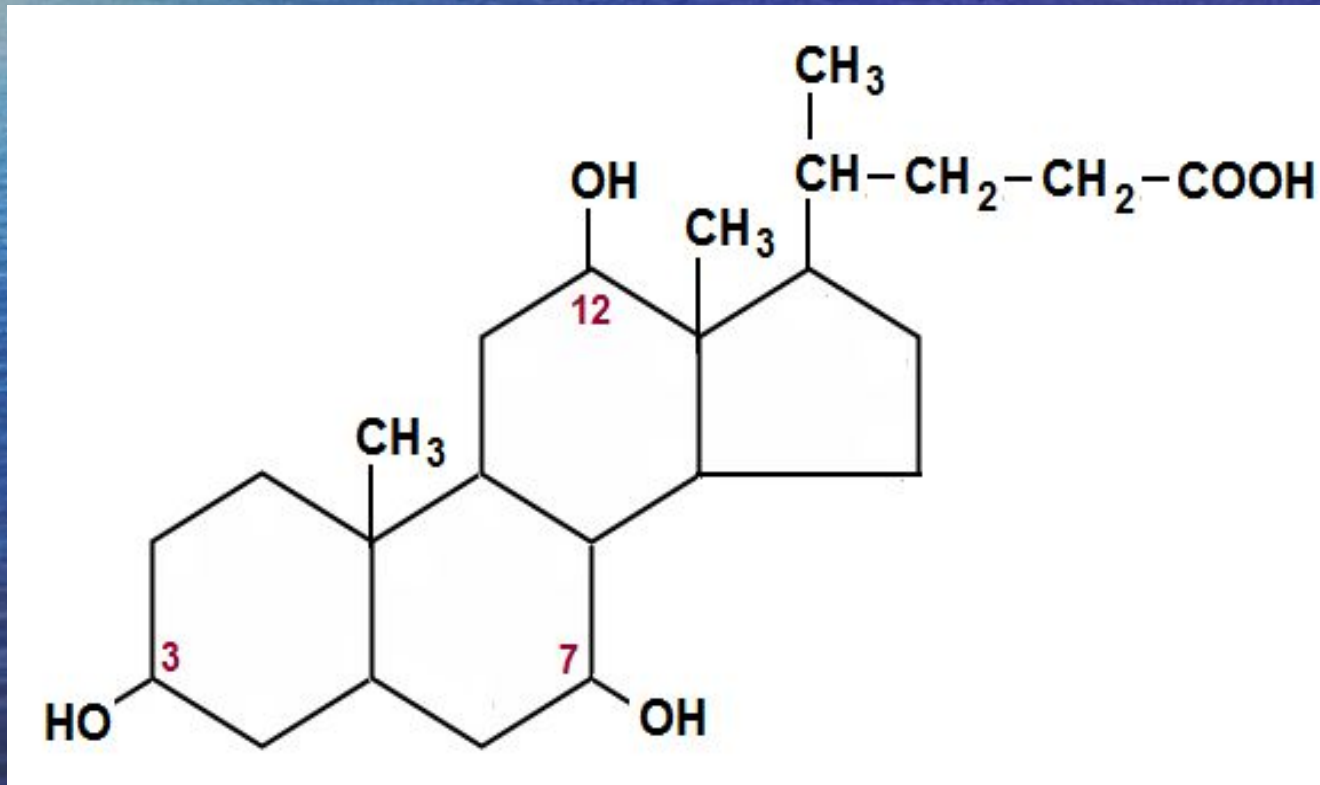
Холановая кислота

## Роль жёлчных кислот:

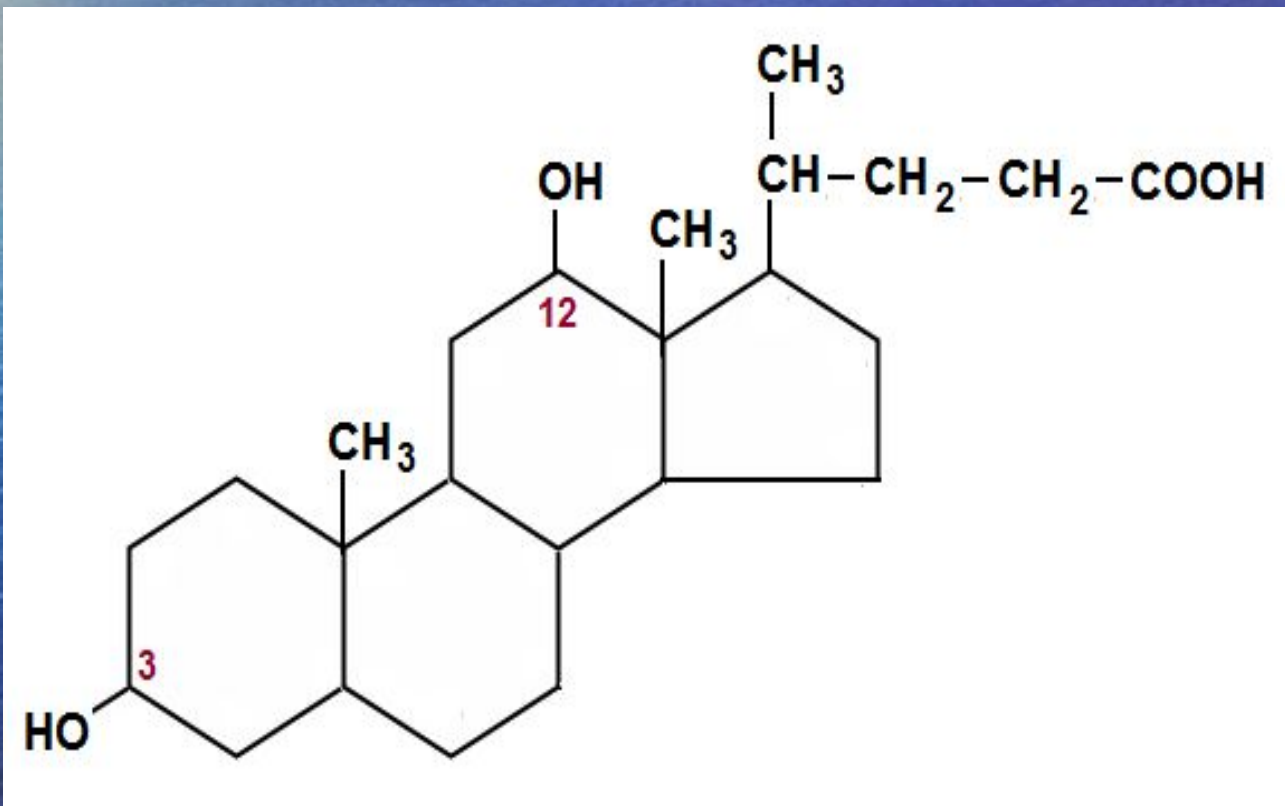
- 1) являются ПАВ, эмульгируют жиры в кишечнике,
- 2) активируют липазу
- 3) образуют холеиновые комплексы (мицеллы) для всасывания ВЖК и ХС

## Холевая кислота -

3,7,12-тригидроксихолановая кислота

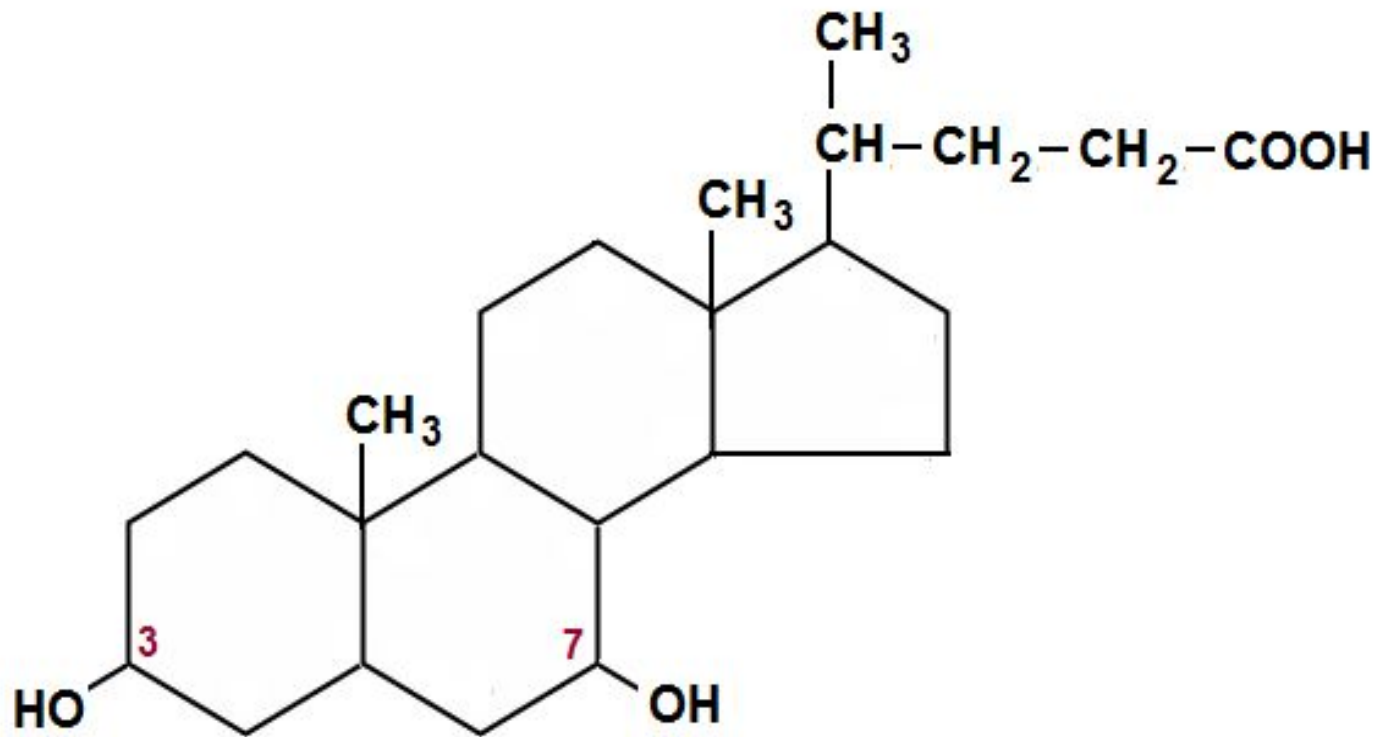


**Дезоксихолеваая кислота -**  
**3,12-дигидроксихолановая кислота**



# Хенодезоксихолеваая кислота -

3,7-дигидроксихолановая кислота





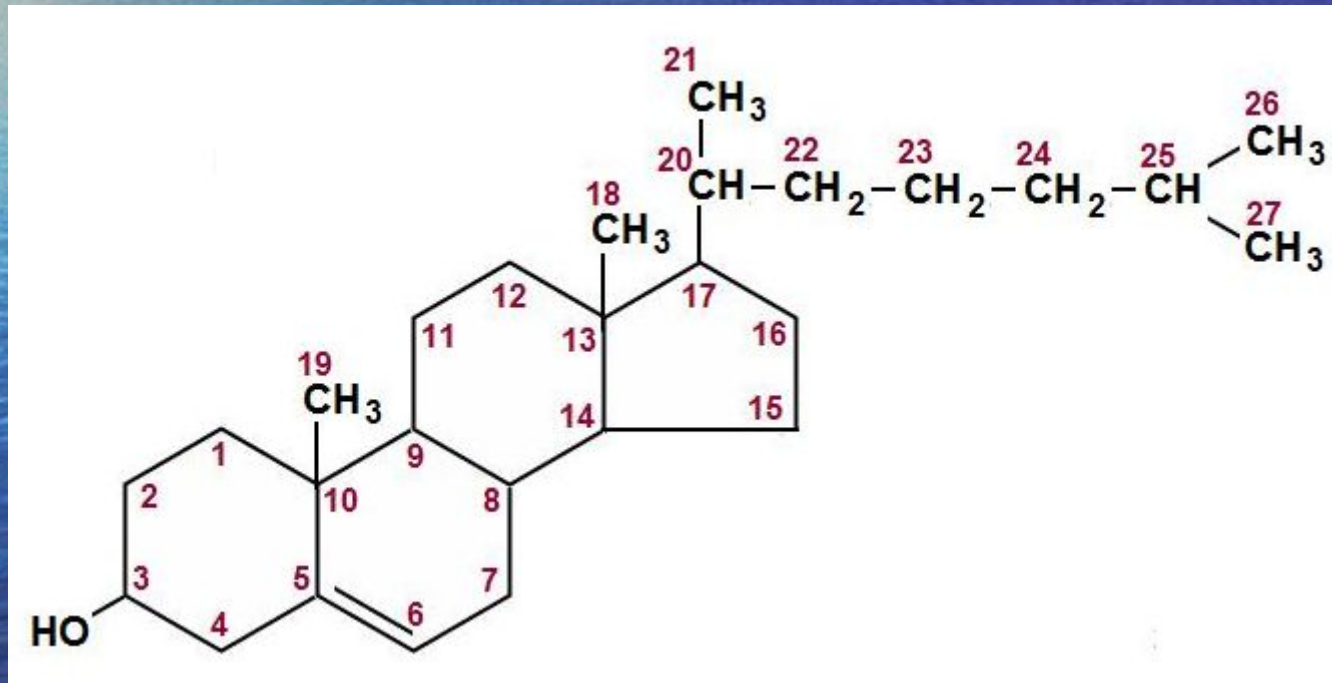
# Стероиды

-это производные циклопентанпергидрофенантрена  
Классифицируются на:

**1) Стерины** – спирты стероидной природы.

Примеры: холестерин, жёлчные кислоты.

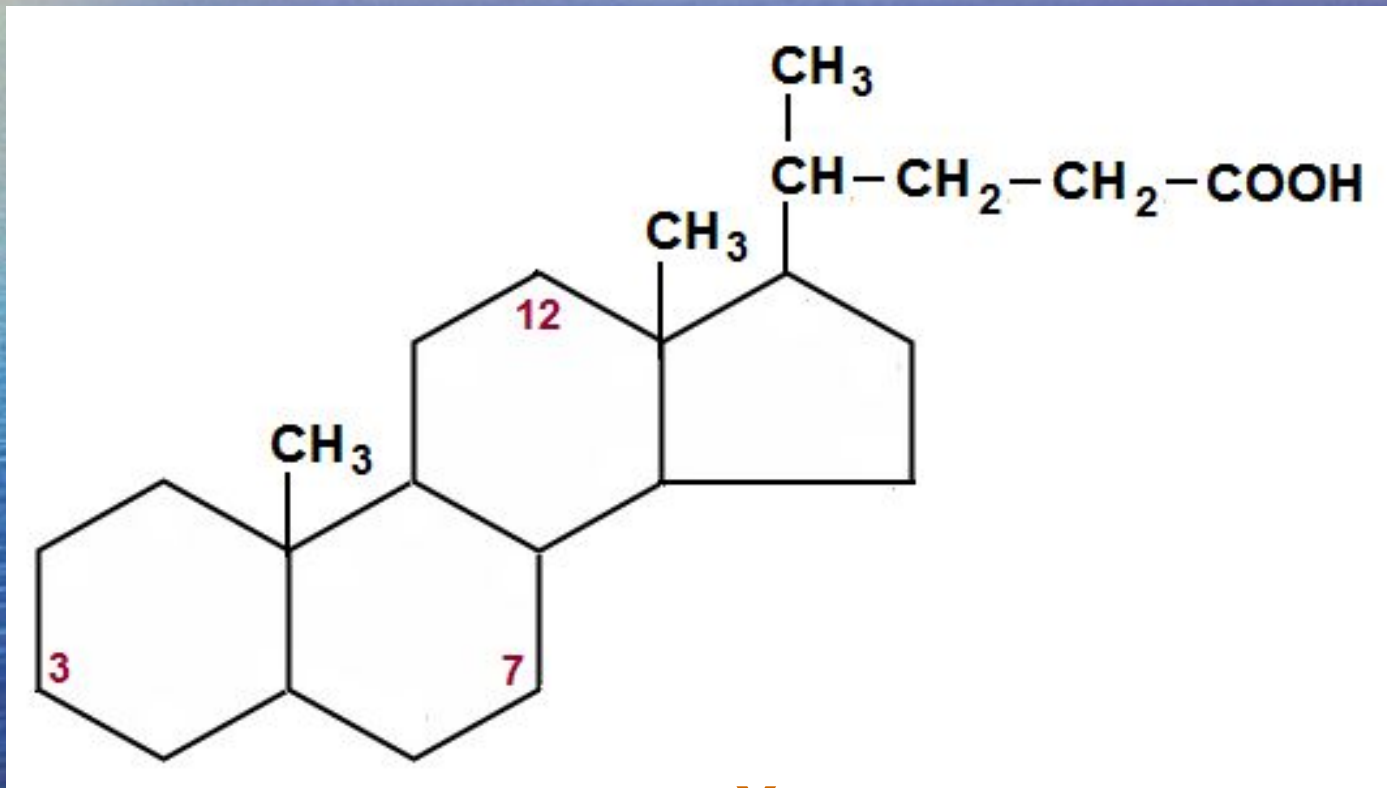
**2) Стериды** – сложные эфиры стеринов и ВЖК.



Холестерин

# Желчные кислоты

- это производные холановой кислоты, синтезируются из холестерина



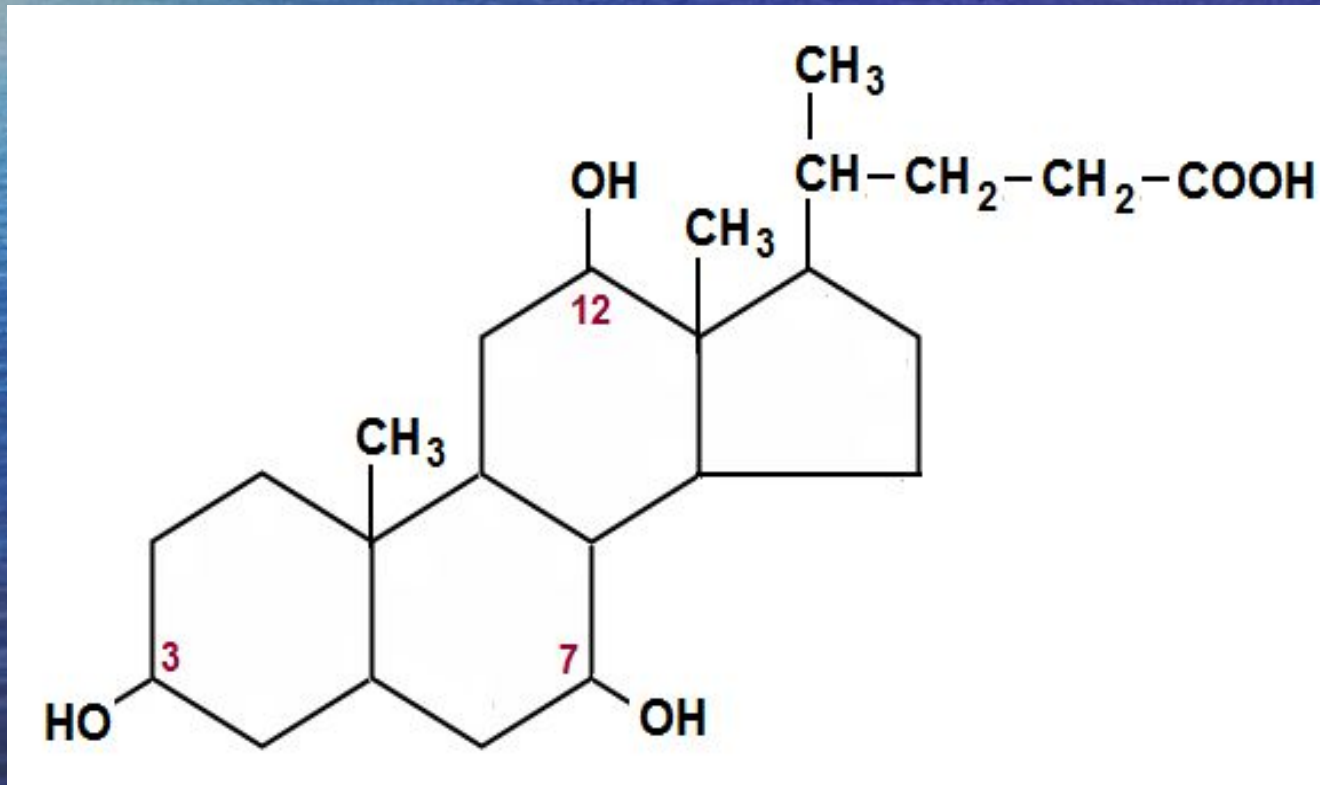
Холановая кислота

## Роль жёлчных кислот:

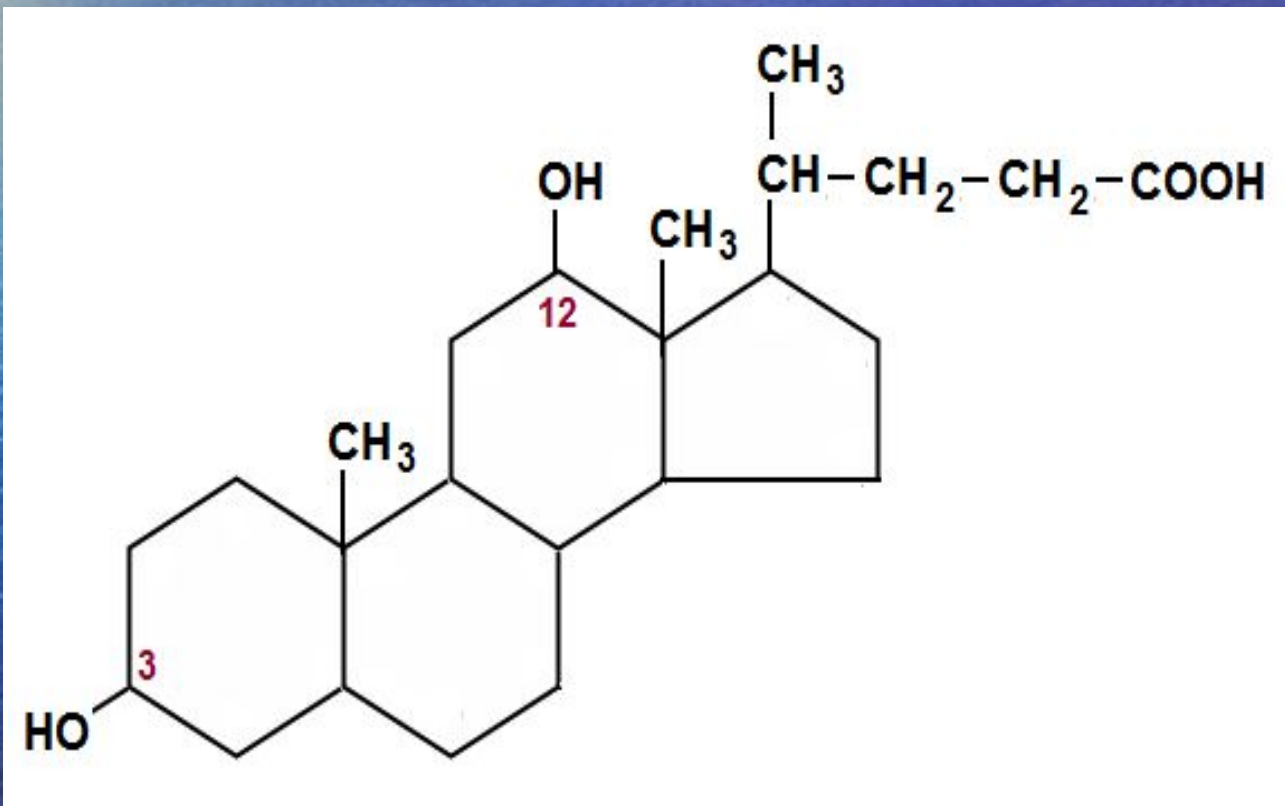
- 1) являются ПАВ, эмульгируют жиры в кишечнике,
- 2) активируют липазу
- 3) образуют холеиновые комплексы (мицеллы) для всасывания ВЖК и ХС

## Холевая кислота -

3,7,12-тригидроксихолановая кислота



**Дезоксихолеваая кислота -**  
**3,12-дигидроксихолановая кислота**



# Хенодезоксихолеваая кислота -

3,7-дигидроксихолановая кислота

