

ФГБОУ ВО КрасГМУ им. проф. В.Ф.Войно-Ясенецкого
Минздрава России

Кафедра биологической химии с курсом медицинской,
фармацевтической и токсикологической химии

Тема: **ЛИПИДЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ, СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА, БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ**

Авторы: д.м.н. Малиновская Н.А., к.б.н. Тепляшина Е.
А., к.б.н. Герцог Г.Е.

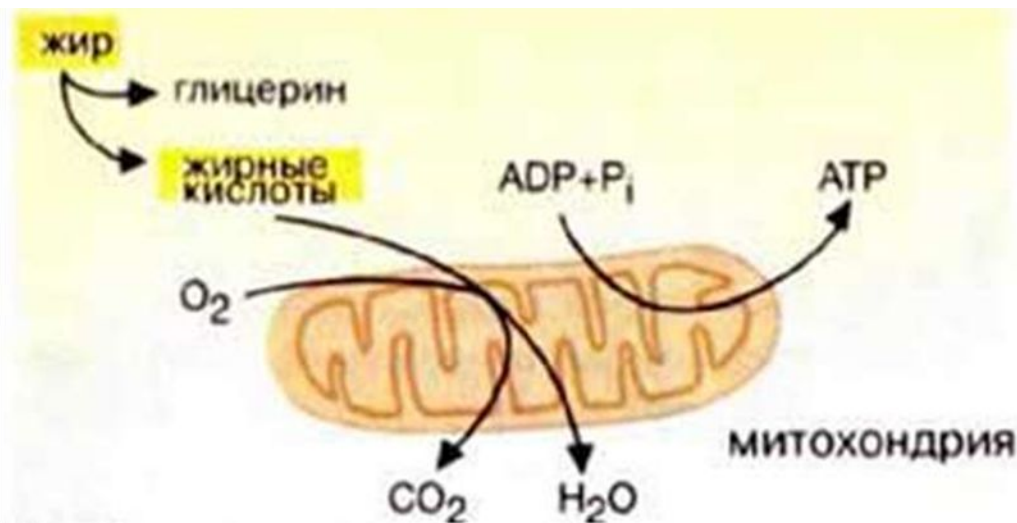
Красноярск, 2018

ПЛАН:

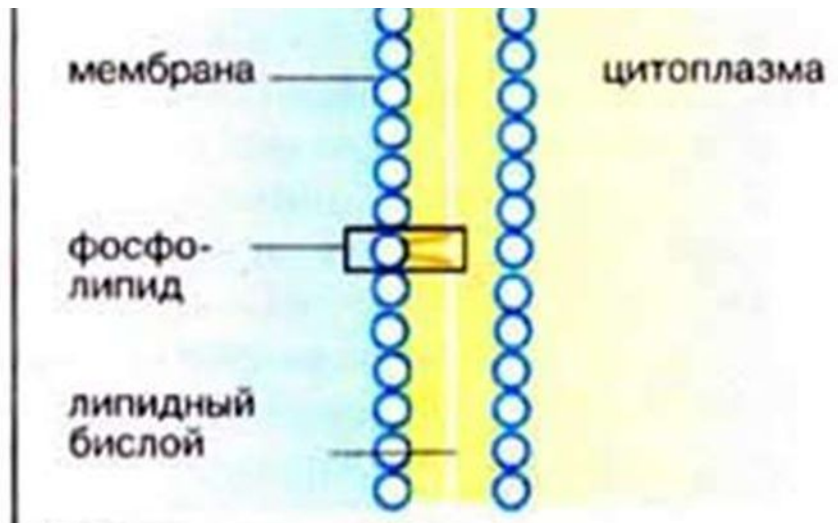
- 1. Актуальность темы.**
2. Классификация липидов.
3. Строение и физико-химические свойства жиров.
4. Строение сложных липидов.
5. Строение и биологическая роль холестерина.
6. Строение мембран.
7. Строение жирорастворимых витаминов.
8. Структурные компоненты липидов
- 9. Заключение**

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Медико-биологическое значение



1. Резерв и источник энергии



2. Структурные блоки



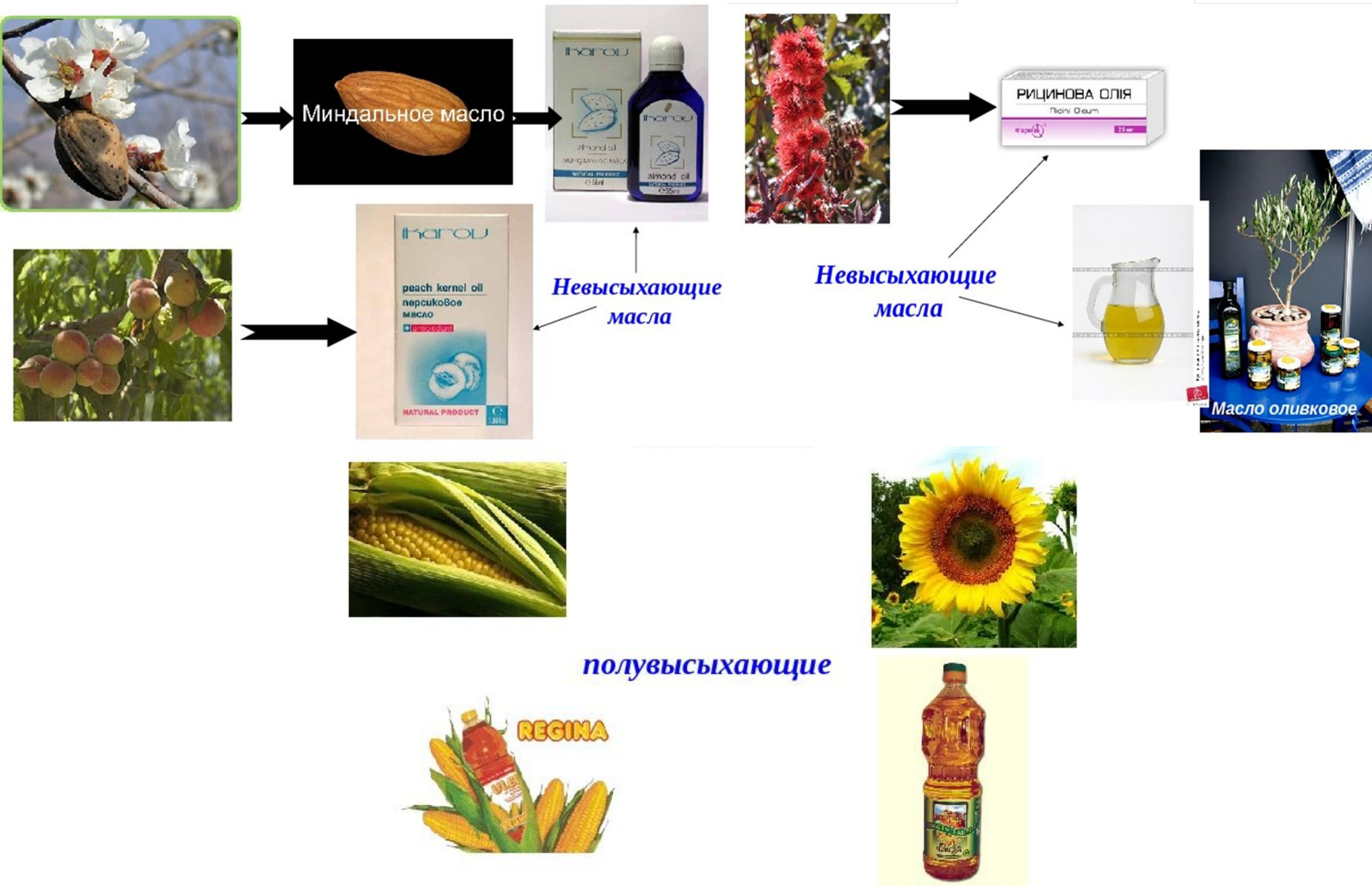
3. Изолирующий материал



4. Прочие функции липидов

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Медико-биологическое значение



АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Медико-биологическое значение

В 100
граммах

Суточная норма: 30% от общей калорийности ежедневного рациона



- Построение клеточных мембран
- Синтез половых гормонов
- Отвечают за усвоение витаминов А, D, Е, К
- Защищают от холода
- Игрют роль «подушки безопасности» для органов во время различных телесных повреждений
- Дают энергию во время длительной голодовки
- Необходимы для функционирования мозга и нервной системы



- Нехватка жиров:
 - истощение нервной системы
 - снижение сопротивляемости организма к инфекции
 - гормональный дисбаланс
 - раннее старение
- Избыток жиров:
 - ожирение
 - увеличение свертываемость крови
 - активация процессов образования печеночных и желчных камней
 - атеросклероз
 - дегенеративные процессы в области печени и почек
 - повышение артериального давления и нагрузки на сердце



Масло рапсовое

99,9 г



Масло оливковое

99,8 г



Топленое масло

99 г



Сало свиное

92,8 г



Маргарин

82 г



Кедровый орех

67 г



Фундук

61,5 г



Утка

61,2 г



Орех грецкий

60,8 г



Семя подсолн.

52,9 г



Фисташки

50 г



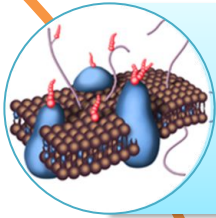
Буженина

50 г

Липиды - 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



СТРУКТУРНАЯ (ПЛАСТИЧЕСКАЯ)

(фосфолипиды) входят в состав ядра, цитоплазмы, мембраны клетки



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ

1г жира = 38,9 кДж

25-30% всей энергии, необходимой организму



ИСТОЧНИК ЭНДОГЕННОЙ ВОДЫ

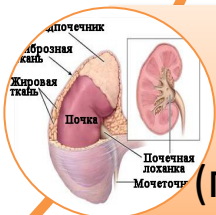
100 г жира = 107 мл
 H_2O



ЗАПАСАЮЩАЯ

(жировое депо)

жиры -
«энергетические
консервы»

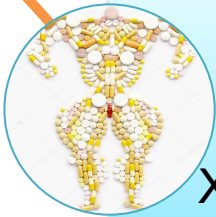


ЗАЩИТНАЯ (амортизационная)

(подушка около глаз, околопочечная капсула)

жиры защищают
внутренние
органы от
повреждений

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ЛИПИДОВ



РЕГУЛЯТОРНАЯ

ХС - источник стероидных гормонов, а ЖК -
эйкозаноидов

жировое депо
способствует
преобразованию
некоторых мужских
половых стероидных
гормонов в женские



ТРАНСПОРТНАЯ

липопротеины - переносчики жирорастворимых витаминов



ТЕРМОРЕГУЛЯТОРНА

Я

жиры предохраняют организм от потери
тепла



СИНТЕЗ БАВ

участвуют в синтезе тромбопластина и миелина
нервной ткани, желчных кислот, жирорастворимых
витаминов (D), кофакторов (долихол, убихинон),
сигнальных молекул (диглицериды, жасмоновая
кислота; МРЗ-каскад) и других



ДРУГИЕ ФУНКЦИИ

увеличение плавучести
диатомовые водоросли, киты,
акулы) - снижение среднего
удельного веса тела
теплоизоляция (киты), смазка, водоотталкивание (растения; кожа, шерсть,

Биологическая классификация ЛИПИДОВ

Петрова Л.Л., 2011

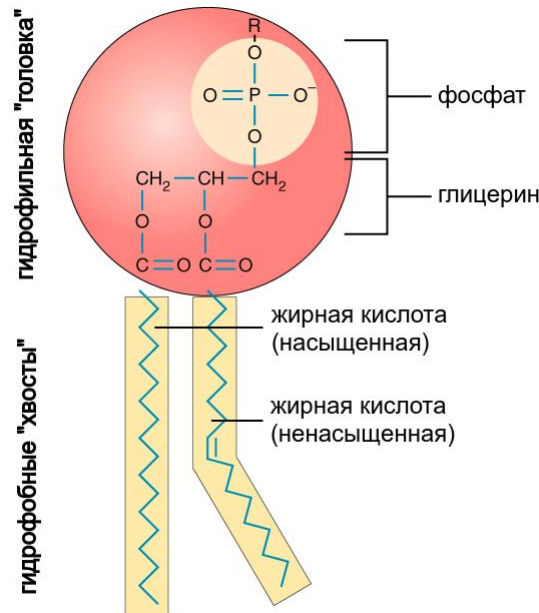
| Классы | 1. Жиры | 2. Липоиды | 3. Биологически активные вещества |
|---------|----------------|------------|-----------------------------------|
| Функции | Энергетическая | Мембранная | Витамины и гормоны |

Фосфолипиды

Жирорастворимые витамины:
А, Д, Е, К



http://cafb.asia/www_data/articles/432262663594.jpg



https://ic.pics.livejournal.com/caenogenesis/47649357/174837/174837_original.png



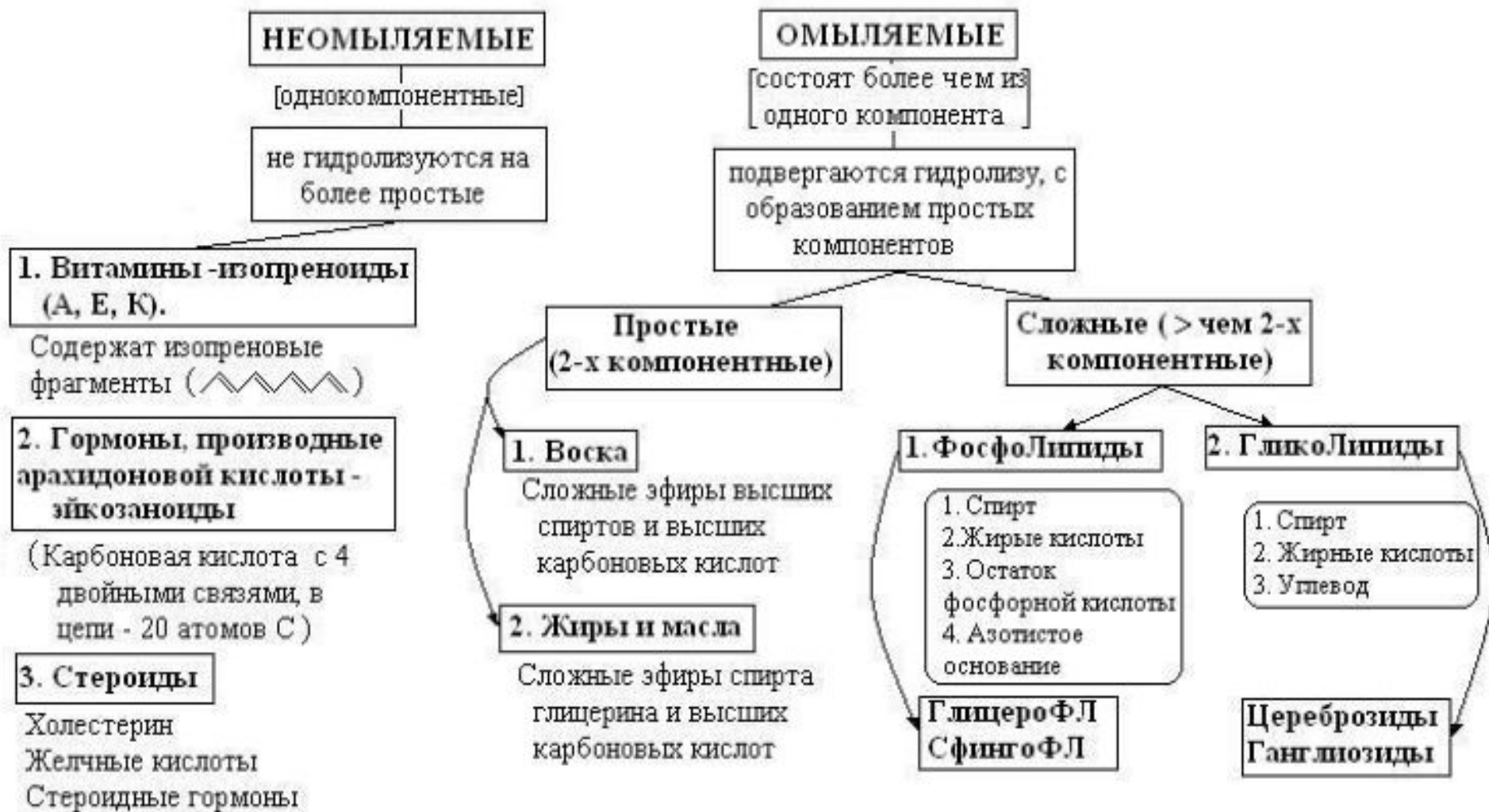
<http://ekolekar.com/wp-content/uploads/2018/01/zhirorastvorimye-vitaminy.jpg>



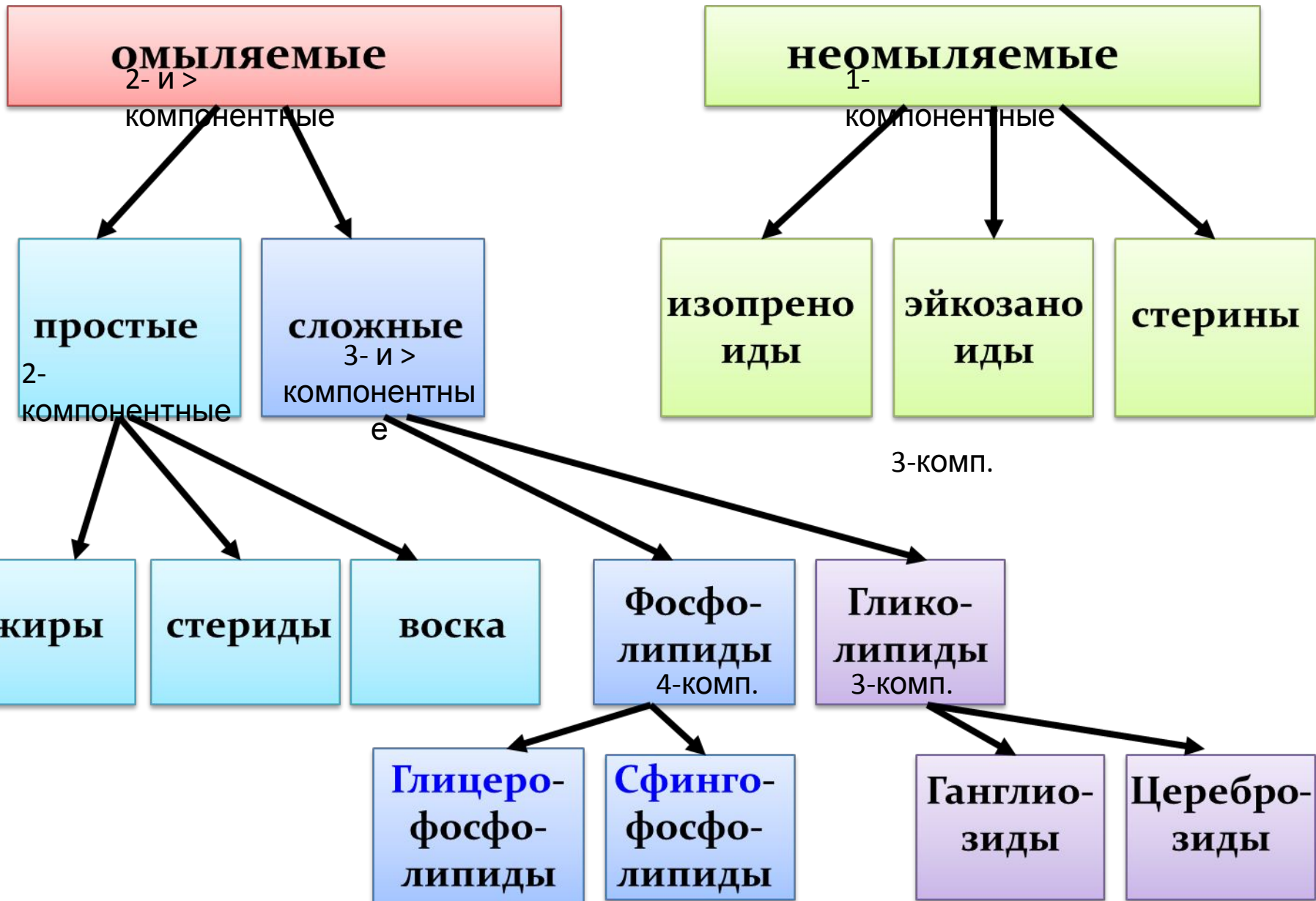
http://www.klbviktorija.com/assets/images/allnews2012-3/24df3db_L.jpg

<http://7bigspoons.com/wp-content/uploads/2011/07/green-ecof-anoid-protecting-cells-lining-stomach1.png>

Химическая классификация ЛИПИДОВ



Химическая классификация липидов



Строение и функции основных классов липидов

| Класс липидов | Схема строения | Функции | Преимущественная локализация в организме |
|---|---|--|---|
| Жирные кислоты | $R-COOH$ | Структурные компоненты большинства классов липидов, источники энергии | Все клетки (в составе других классов липидов) |
| Триацилглицеролы (ТАГ) | $ \begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}_1 \\ \\ \text{R}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH} \\ \\ \text{H}_2\text{C}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}_3 \end{array} $ | Запасание энергетического материала, термозоляция, механическая защитная функция | Адиipoциты |
| Глицерофосфолипиды: X-холин; этаноламин; серин; инозитол-бисфосфат | $ \begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}_1 \\ \\ \text{R}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH} \\ \\ \text{H}_2\text{C}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{P}}-\text{O}-\text{X} \\ \\ \text{OH} \end{array} $ | Структурные компоненты мембран; фосфатидилхолин, кроме того, структурный элемент липопротеинов, компонент сурфактанта, предотвращающего слипание альвеол (в этом случае R_1 и R_2 – пальмитиновая кислота) | Мембраны клеток, монослой на поверхности липопротеинов, альвеолы легких |
| Сфингофосфолипиды-сфингомиелины | $ \begin{array}{c} \boxed{\text{Сфингозин}} \\ \\ \text{O} \\ \parallel \\ \text{O}=\text{P}-\text{O} \\ \\ \text{Холин} \end{array} \quad \begin{array}{c} \\ \text{Жирная кислота} \end{array} $ | Основные структурные компоненты мембран клеток нервной ткани | Миелиновые оболочки нейронов, серое вещество мозга |
| Гликолипиды: цереброзиды, если X – моносахарид; ганглиозиды, если X – углеводы сложного состава | $ \begin{array}{c} \boxed{\text{Сфингозин}} \\ \\ \text{Углевод X} \end{array} \quad \begin{array}{c} \\ \text{Жирная кислота} \end{array} $ | Компоненты мембран клеток нервной ткани, антигенные структуры на поверхности разных типов клеток; рецепторы, обеспечивающие взаимодействие клеток | Внешний слой клеточных мембран |
| Стероиды | Холестерол и его производные | Компонент мембран, предшественник в синтезе желчных кислот и стероидных гормонов | Мембраны клеток, липопротеины крови |

ПРОСТЫЕ ЛИПИДЫ. ВОСКИ (ВОСКА).

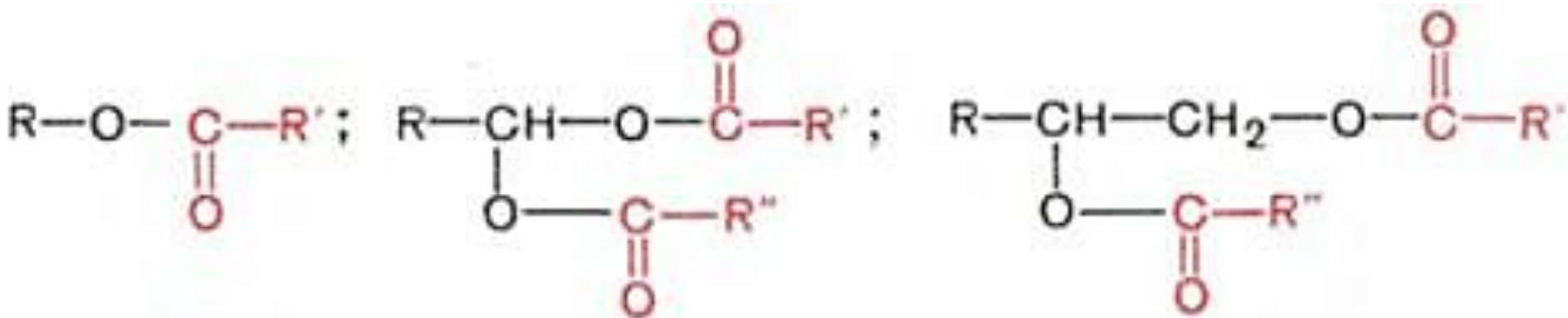
1
-
а
т
о
м
н
с
п
и
р
т

жирная кислота

2
-
а
т
о
м
н
с
п
и
р
т

жирная кислота

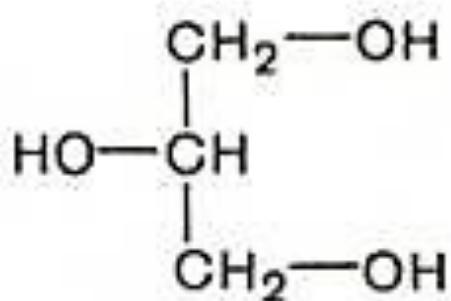
жирная кислота



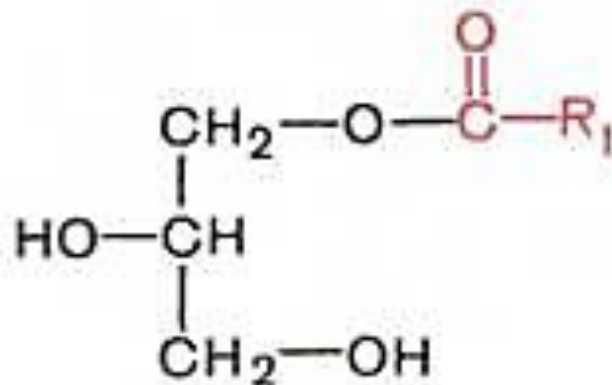
Триглицериды (триацилглицеролы, жиры) *(схема строения)*



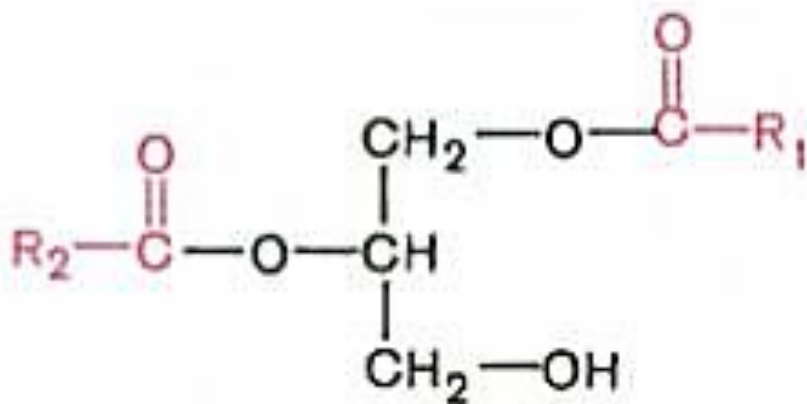
ПРОСТЫЕ ЛИПИДЫ. ГЛИЦЕРИДЫ



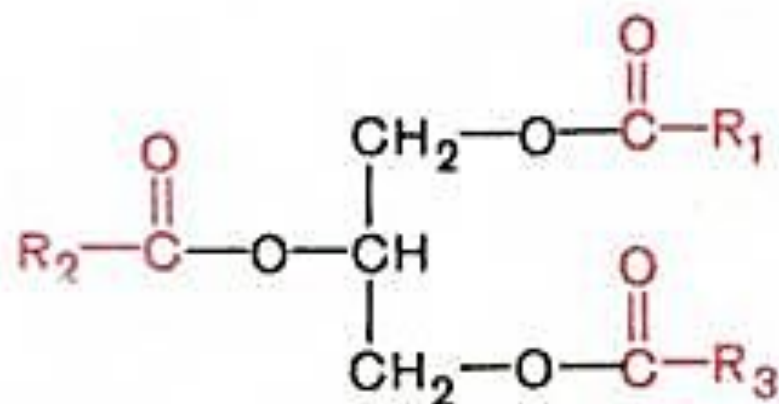
Глицерин (глицерол)



Моноглицерид (моноацилглицерол)

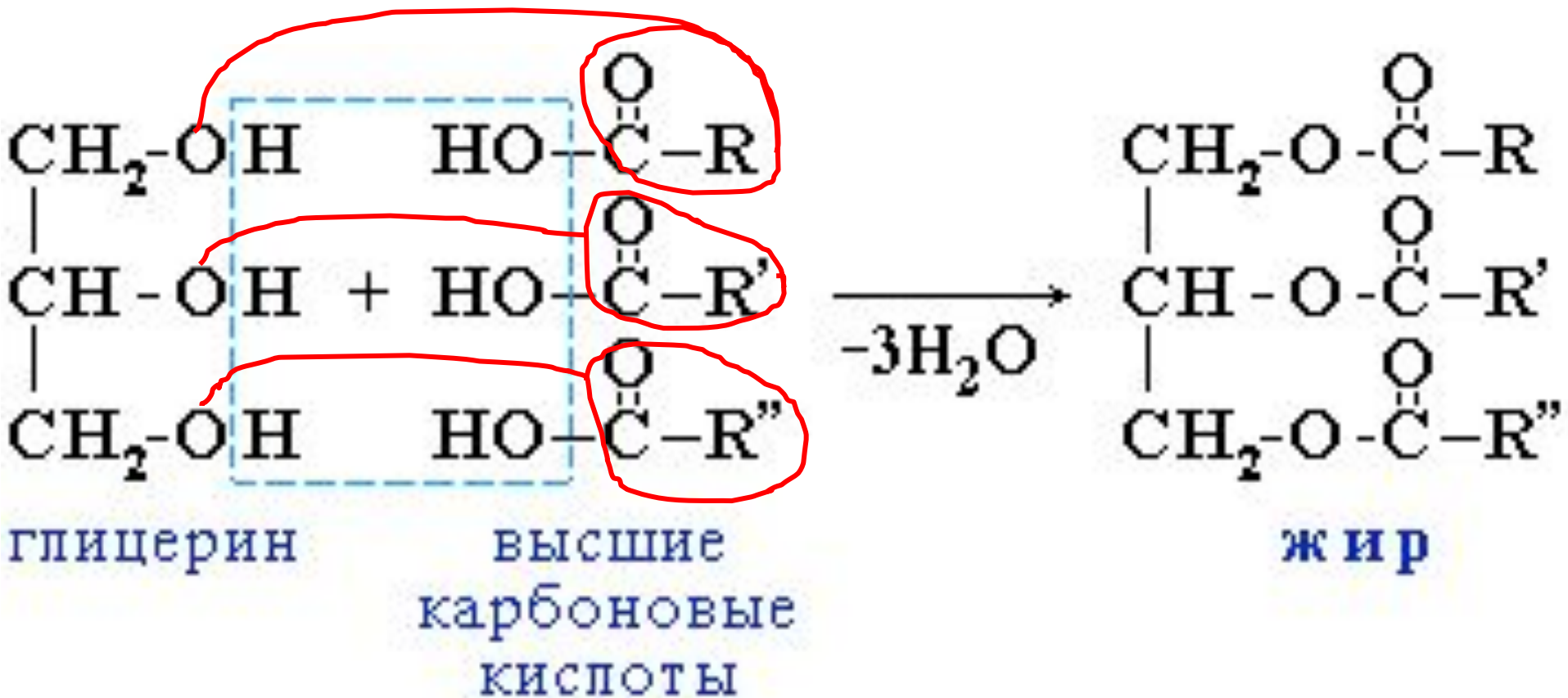


Диглицерид (диацилглицерол)



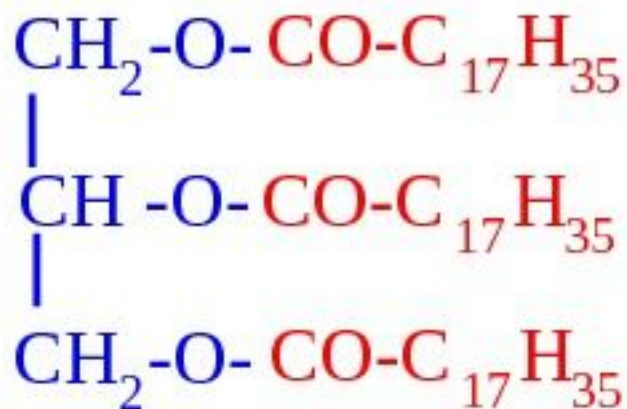
Триглицерид (триацилглицерол)

Синтез жира



Классификация триацилглицеринов

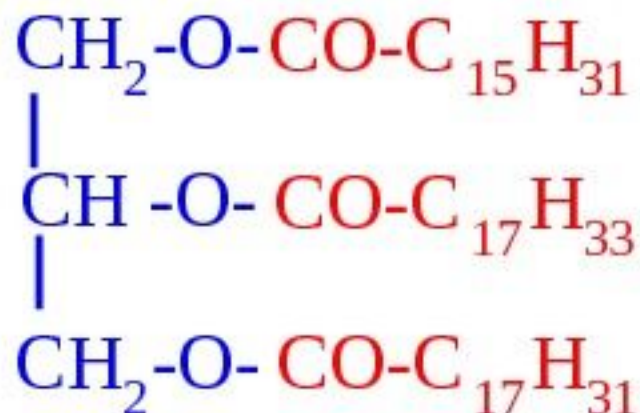
Простые



тристеарин

тристеароилглицерин

Смешанные



α -пальмито- β -олео-

α' -линолеин

1-пальмитоил-2-олеоил-

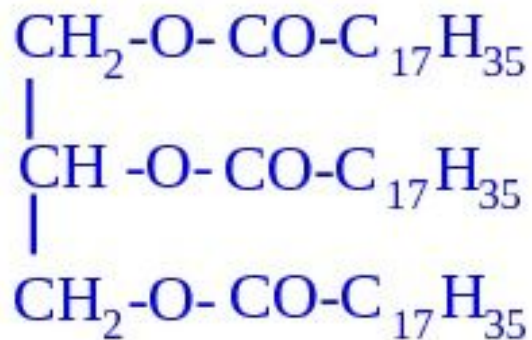
3-линолеоилглицерин

Классификация жиров по консистенции

Твердые – жиры

(животного и растительного
происхождения)

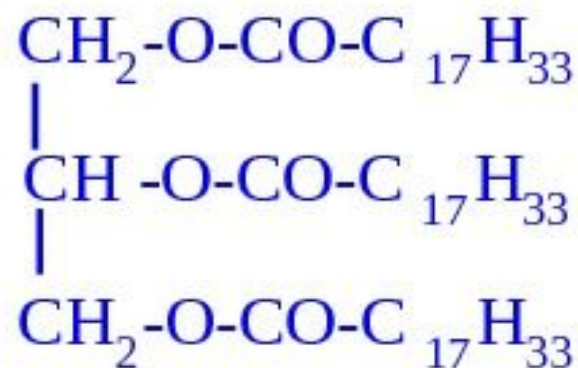
остатки насыщенных ВЖК



Жидкие – масла

(растительного происхождения)

остатки ненасыщенных ВЖК



АГРЕГАТНОЕ СОСТОЯНИЕ ЖИРОВ

Твердые жиры –
главным образом
животные (сало,
говяжий, бараний
жир)

Жидкие жиры –
главным образом
растительные
(масла – оливковое,
подсолнечное)

**Смешанные
жиры** – главным
образом
животные жиры

Содержат остатки
насыщенных
высших жирных
(карбоновых) кислот
(ВЖК) и/или ЖК с
длинной цепью

Содержат остатки
ненасыщенных
ВЖК и/или ЖК с
короткой цепью

Содержат остатки
насыщенных и
ненасыщенных
ВЖК

ИСКЛЮЧЕНИЕ!

Рыбий жир

ИСКЛЮЧЕНИЕ!

Кокосовое
масло

Классификация растительных жирных масел

Невысыхающие

- оливковое
- миндальное
- кунжутное
- арахисовое
- касторовое

Полувысыхающие

- подсолнечное
- кукурузное
- хлопковое
- соевое

Высыхающие

- льняное
- конопленое

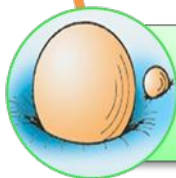
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИРОВ/ЛИПОИДОВ



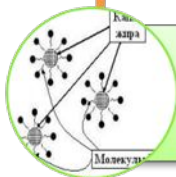
Молекулы триглицеридов полностью **гидрофобны** (не растворяются в воде)



Агрегатное состояние при комнатной температуре зависит от состава жирных кислот (**жидкие/твердые жиры**)



Плотность жира меньше 1, поэтому он легче воды и плавает на её поверхности



Под действием поверхностно-активных веществ (ПАВ) или детергентов (а также желчных кислот) жиры хорошо **эмульгируются**

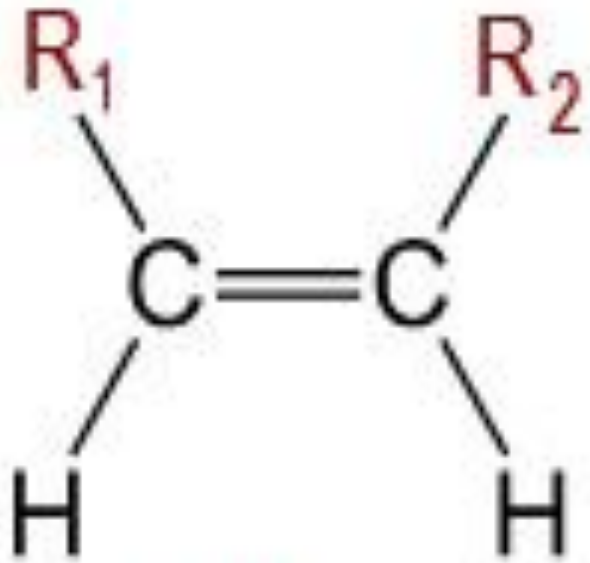


Находясь на поверхности раздела полярной и неполярной фаз, проявляют свойства **эмульгаторов**

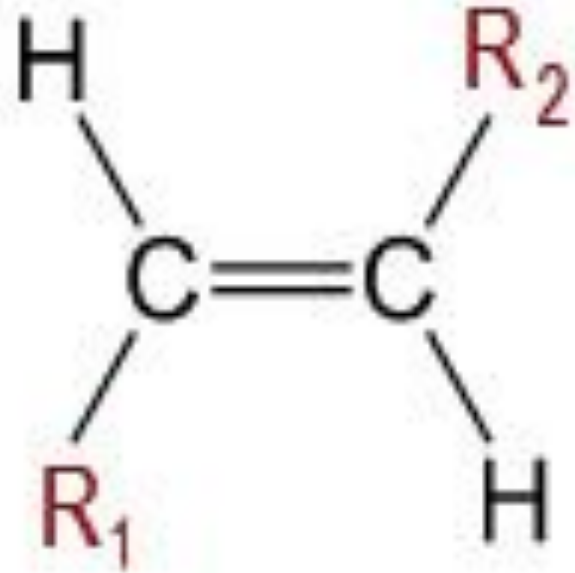


В составе биомембран липоиды определяют **высокое электрическое сопротивление** и **селективную проницаемость** бислоя

Изомерия жирных кислот в составе жиров



Цис



Транс

Транс-жиры



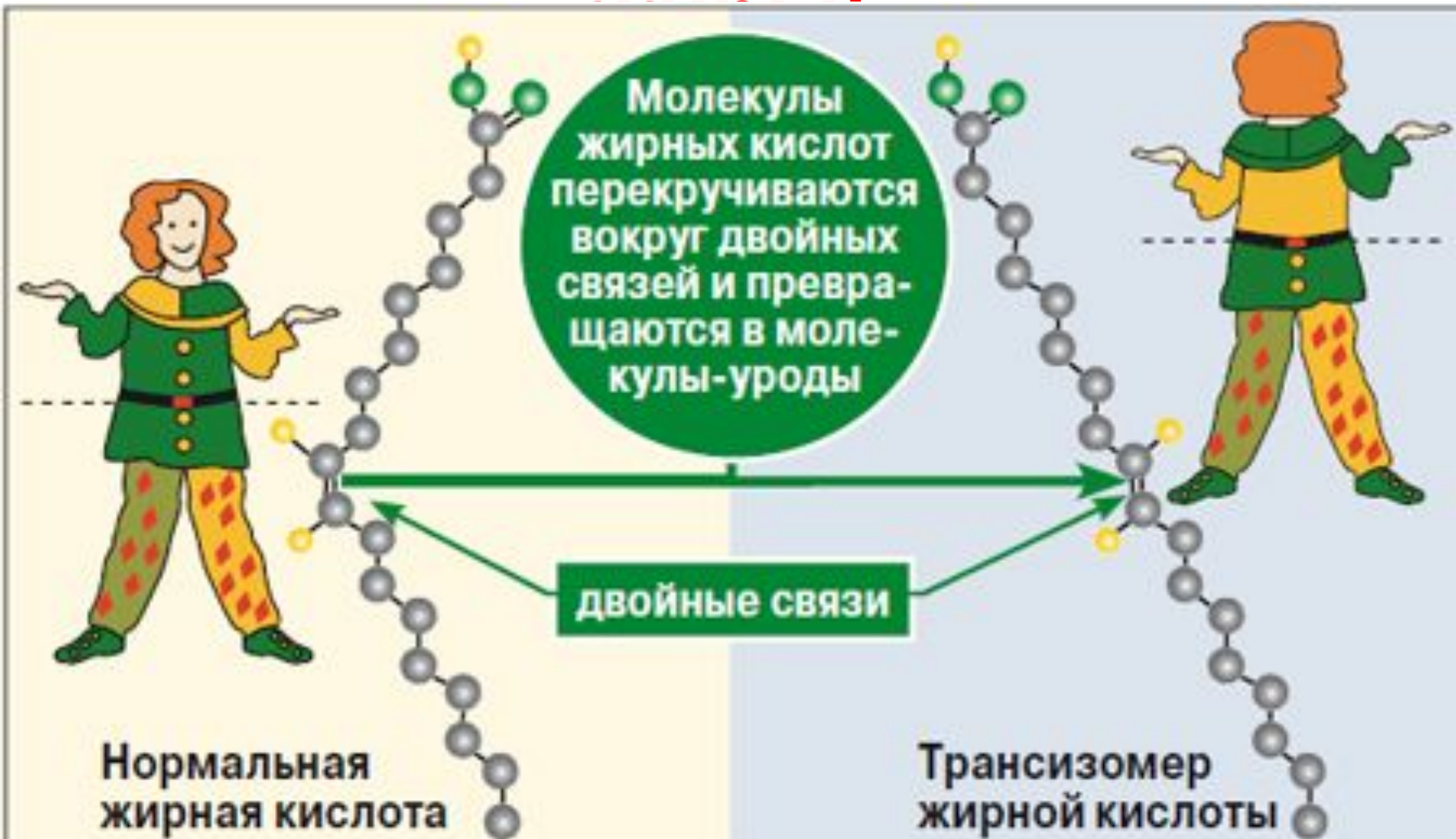
Транс-изомеры жирных кислот (ТИЖК) или транс-жиры

Транс-жиры – особые формы молекул ненасыщенных жирных кислот, иногда называемых «молекулами-уродами».

Они лишены биологической эффективности и для организма являются только источниками энергии. Транс-жиры метаболизируются в организме иными путями, чем природные цис-изомеры жирных кислот и при употреблении в большом количестве вредны для здоровья.



Транс-жиры (гидрогенизированные)



Транс-жиры

(гидрогенизированные)

ТРАНСЖИРЫ БЬЮТ ПРЯМО В СЕРДЦЕ



<http://foodnews-press.ru/images/transi.jpg>

ТРАНС ЖИРЫ В НАШЕЙ ПИЩЕ!

- Гамбургеры



- Картошка фри

ФАСТ-ФУД

В результате производители получили идеальный для них с точки зрения получения прибыли продукт, ставший основой индустрии "фаст-фуда". Жареный "фаст-фуд" - самый большой источник транс-жиров. Именно на таких жирах чаще всего жарят картофель фри, пирожки, пончики, чебуреки, гамбургеры, кусочки куриного филе в панировке и многое другое. Так, что самое опасное в "фаст-фуде" - это качество жира!



- Торты

ВЫПЕЧКА

Практически любая выпечка - пирожные, торты, пироги (особенно из песочного теста, в них добавляют гидрогенизированные жиры для придания тесту рассыпчатости), печенье, крекеры, пряники, пончики, основа для пирогов и др.



- Чебуреки



- Пицца

ЗАКУСКИ

Транс-жиры содержатся так же в различных расфасованных закусках (снеках) - чипсы, обжаренные сухарики, полкорм и др.

В самых разнообразных баночно-бутылочных соусах и майонезах.



- Чипсы



- Маргарин
ТРАНС-ЖИРЫ



- Майонез



- Соусы



- Пироги

- Печенье



- Поп-корн



* Многие последствия употребления жирной пищи можно нейтрализовать минеральной водой Сулинка, которая связывает и выводит из организма жиры.

«Плохие» и «хорошие» жиры

«ПЛОХИЕ» ЖИРЫ

Старайтесь отказаться от этих продуктов



НАСЫЩЕННЫЕ ЖИРЫ

Кокосовое, пальмовое масло, жирное молоко, сливочный йогурт и сливки, сыр, жирное жареное мясо, бекон, сосиски, сало.



ТРАНСГЕННЫЕ ЖИРЫ

Готовая выпечка: торты, вафли, кексы, печенье и бисквиты. Мягкое «бутербродное» масло и маргарин (на этикетке указано: «гидрогенизированные жиры» или «гидрогенизированное масло»).



МОНОНАСЫЩЕННЫЕ ЖИРЫ

Оливковое и рапсовое масло. Авокадо и оливки. Орехи: миндаль, фисташки, фундук, кешью, арахис.



ПОЛИНАСЫЩЕННЫЕ ЖИРЫ

Кукурузное, подсолнечное, льняное и соевое масло. Кедровые и грецкие орехи, кунжут и семена подсолнечника. Ростки пшеницы, соевые бобы, сыр тофу.

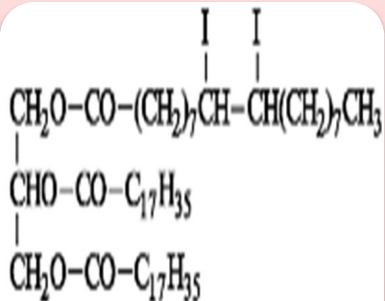


ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ ОМЕГА-3

Жирная рыба: скумбрия, сельдь, семга, форель, тунец, сардины, грецкие орехи, яйца, обогащенные Омега-3.

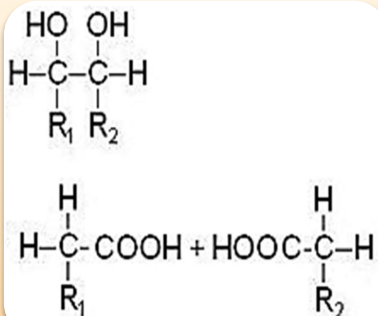
ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИРОВ

Реакции присоединения (для ненасыщенных ЖК)



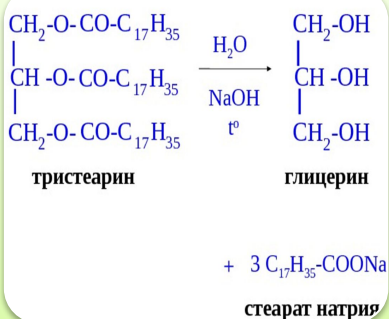
- **Гидрирование** (гидрогенизация) – образование твердых жиров (маргарина)
- **Галогенирование** (с йодом, бромом, хлором)
- **Гидрогалогенирование** (с кислотами соляной, йодной, бромной)

Реакции окисления



- Окисление кислородом воздуха на свету ненасыщенных жиров при хранении, сопровождаемое гидролизом, является частью прогоркания масла
- Перекисное окисление
- Жесткое окисление
- Мягкое окисления

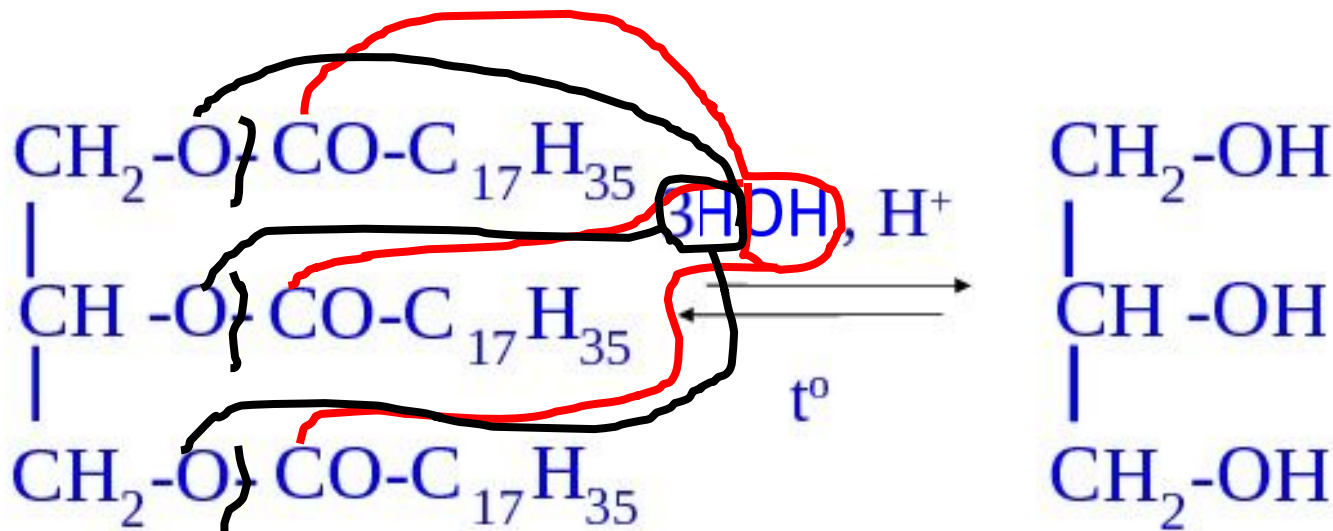
Реакции гидролиза



- **Кислотный**
- **Щелочной** (омыление)
- **Ферментативный**

Гидролиз триацилглицеринов

Реакции кислотного гидролиза



тристеарин

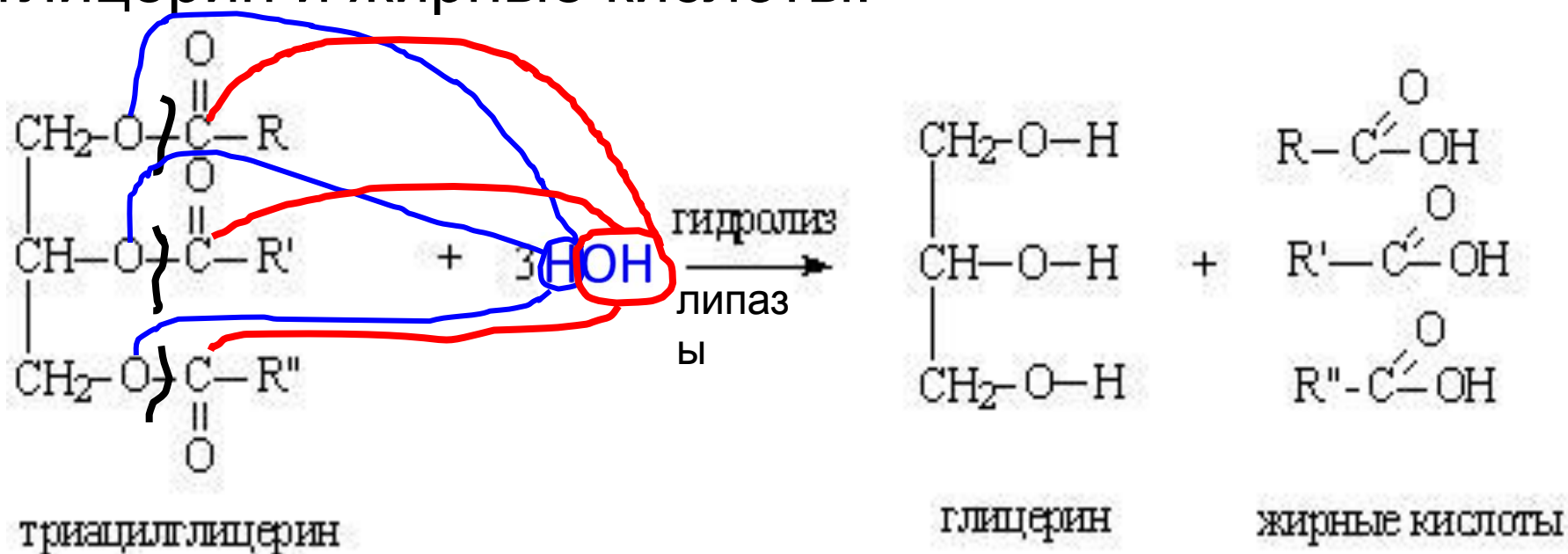
глицерин



стеариновая кислота

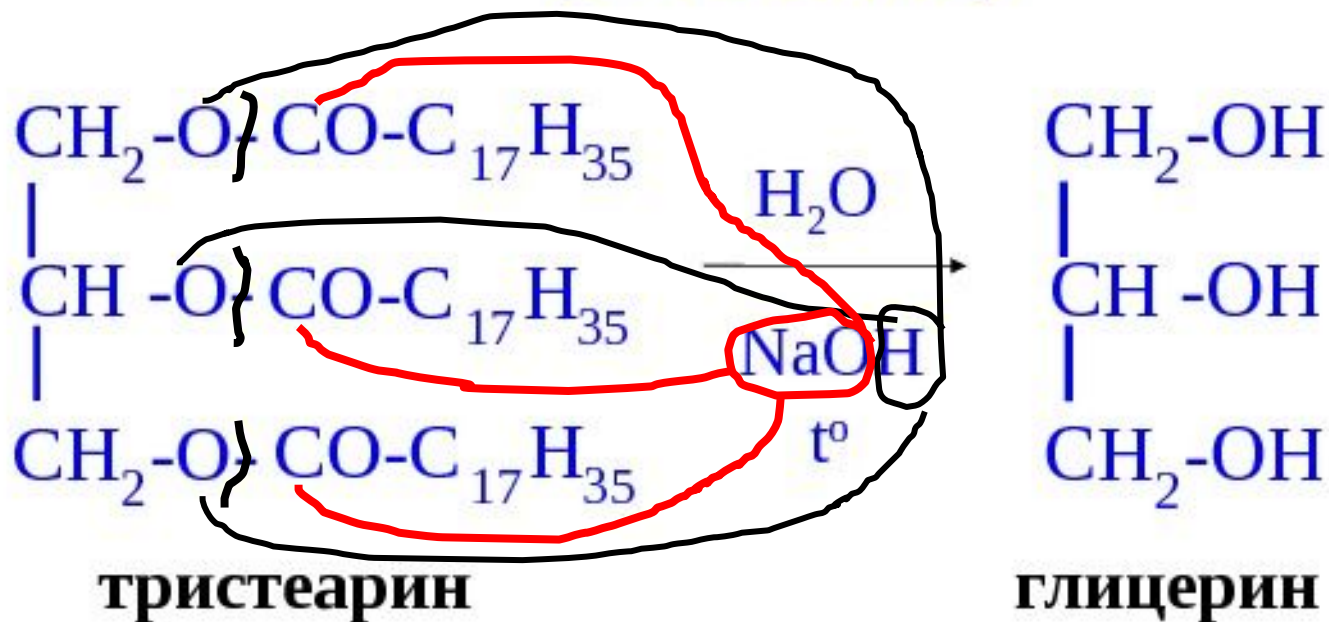
Гидролиз триацилглицеринов

При ферментативном гидролизе триацилглицеринов в итоге также образуются глицерин и жирные кислоты:



Гидролиз триацилглицеринов

Реакции щелочного гидролиза (омыление)



стеарат натрия

МЫЛО

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**.

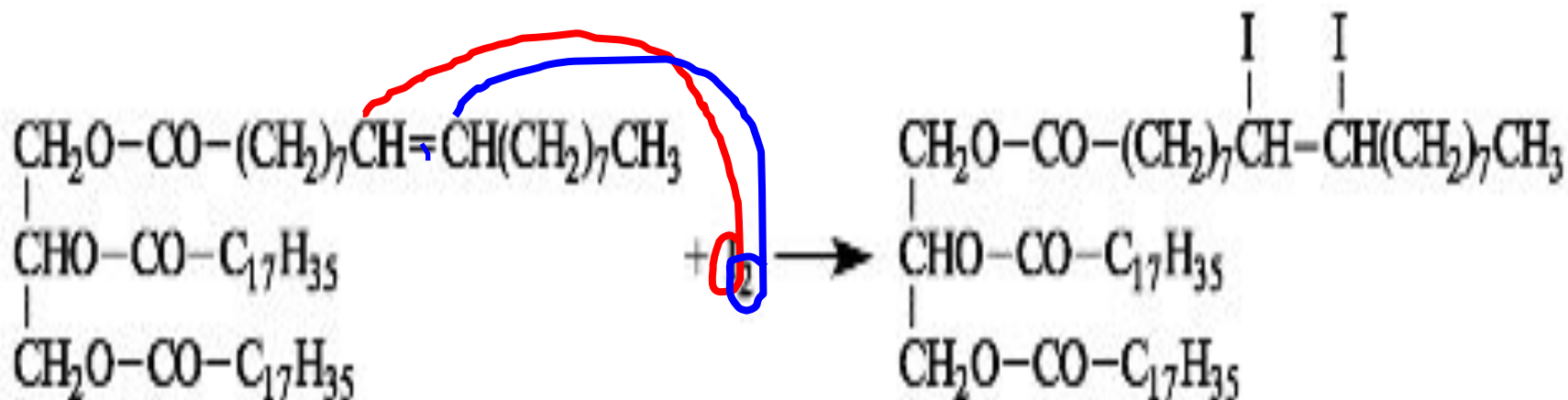
Реакция присоединения

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

Иодное число - мера ненасыщенности триацилглицеринов. Оно соответствует числу граммов иода, которое может присоединиться к 100 г вещества.

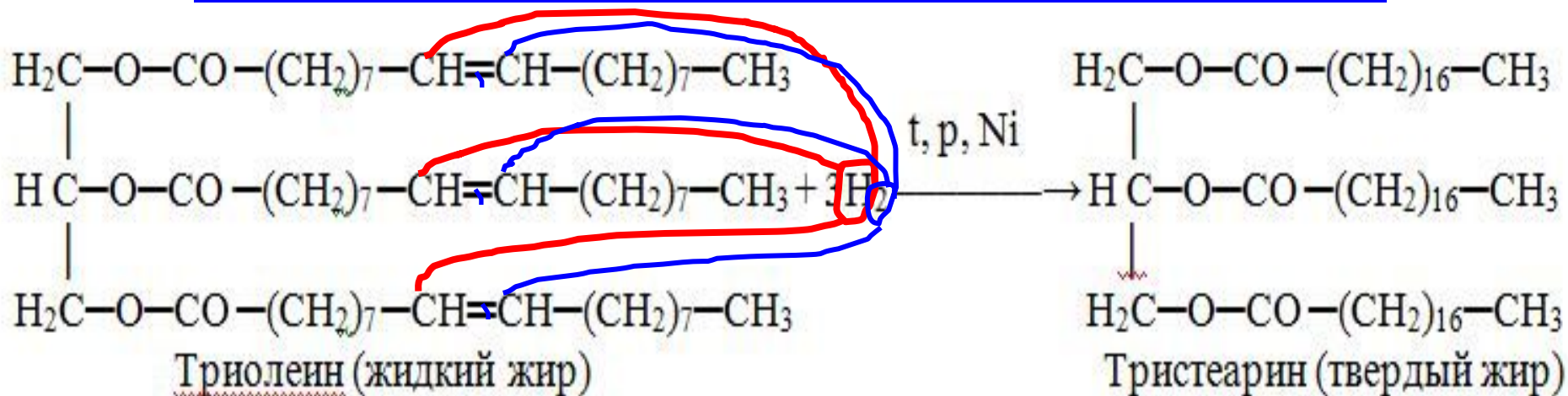
Состав природных жиров и масел и их иодные числа варьируют. **Пример:** взаимодействие 1-олеил-дистеароилглицерина с иодом (иодное число равно 30). Каталитическое гидрирование ненасыщенных растительных масел - важный промышленный процесс. В этом случае водород насыщает двойные связи и жидкие масла превращаются в **твердые жиры**.

Реакция присоединения



1-олеилдистеароилглицерин

http://vmede.org/sait/?page=11&id=Bioorganicheskaia_himija_tykavkina_2010&menu=Bioorganicheskaia_himija_tykavkina_2010



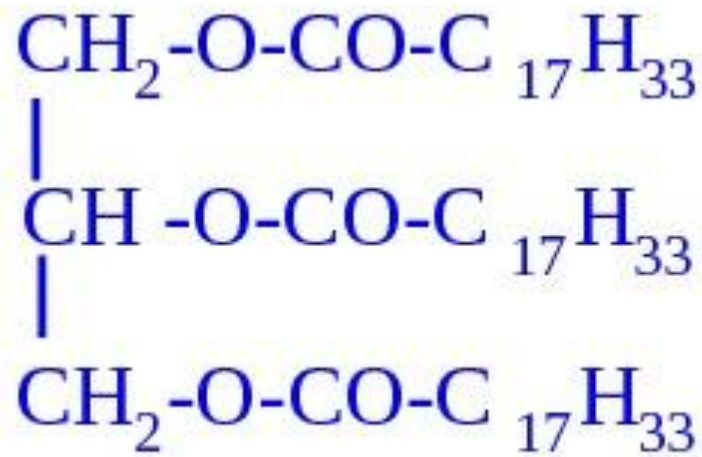
Триолеин (жидкий жир)

Тристеарин (твердый жир)

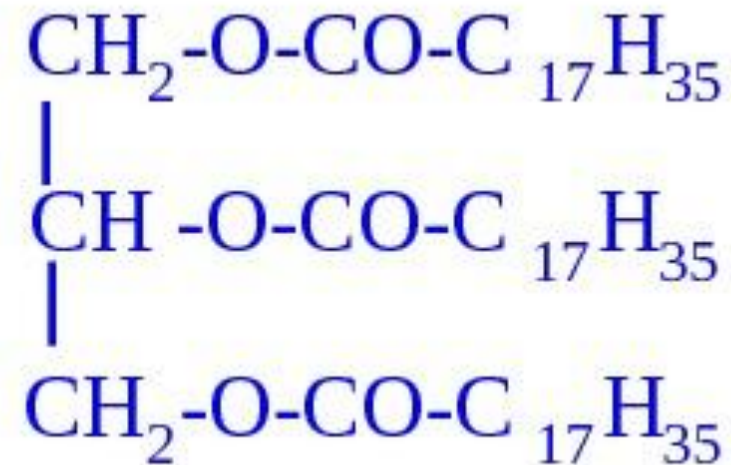
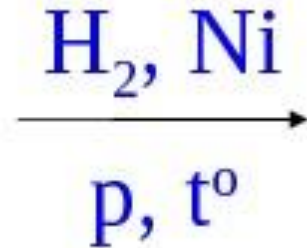
<https://dist-tutor.info/file.php/415/OrgChemII/KarbonovyeKisloty/SIEHfiry4.JPG>

Реакция присоединения

гидрирования (гидрогенизации)



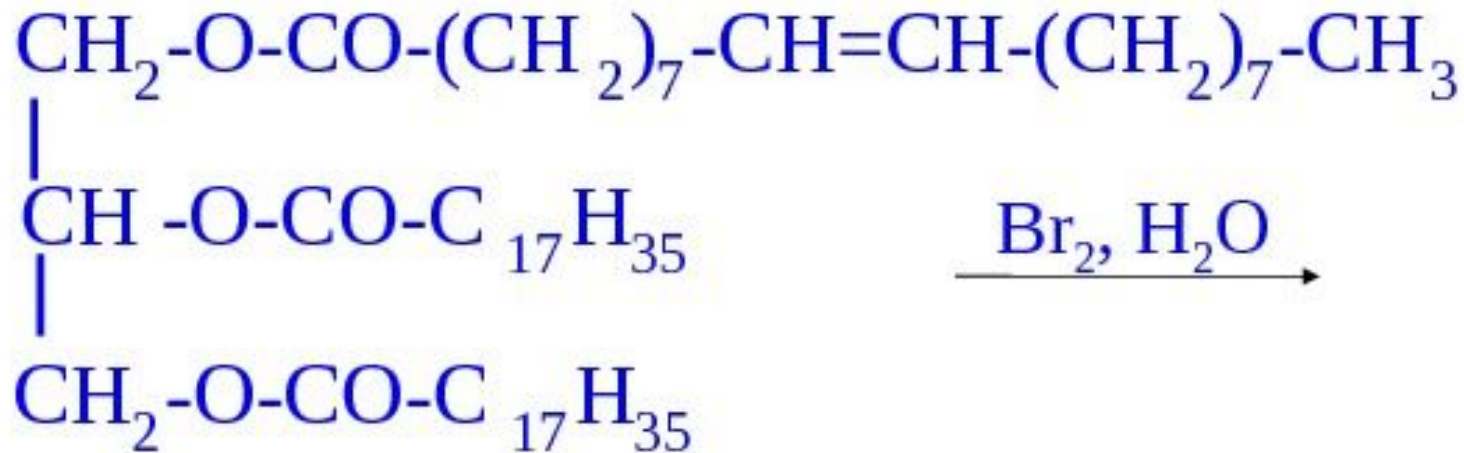
триолеин



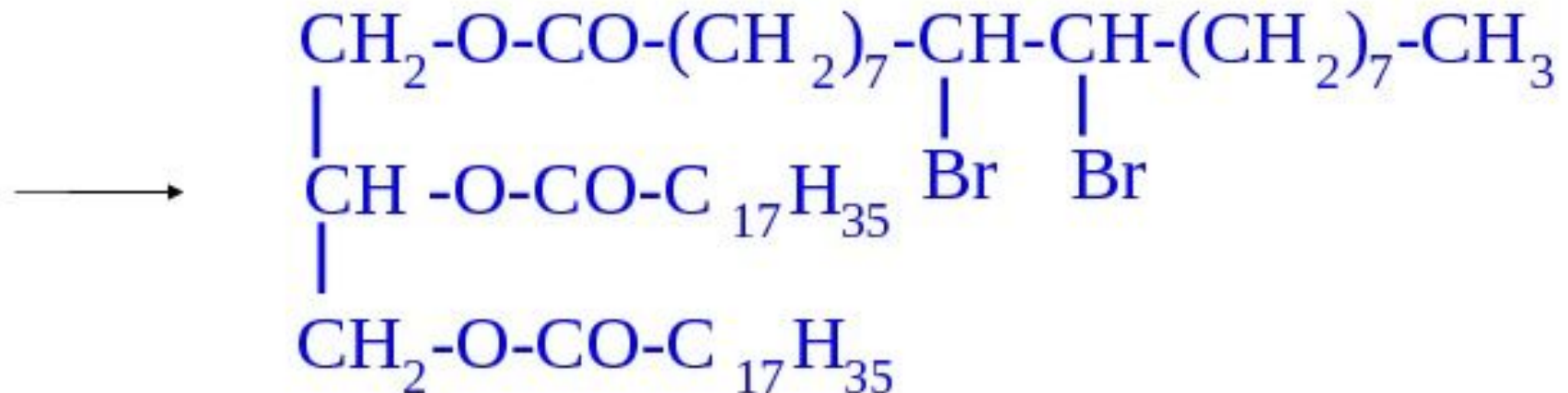
тристеарин

Реакция присоединения

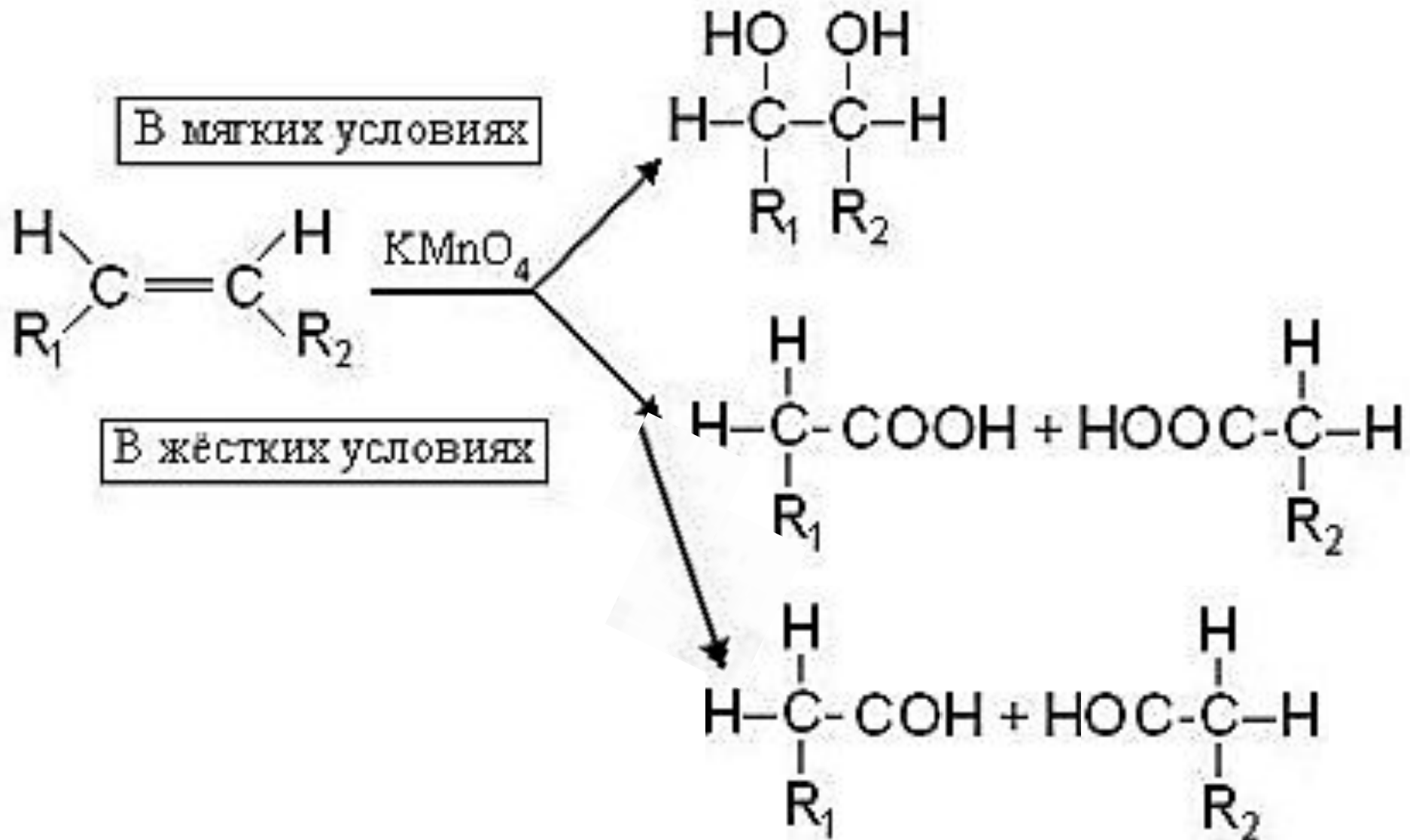
галогенирования (бромирование)



α -олео- α' , β -дистеарин

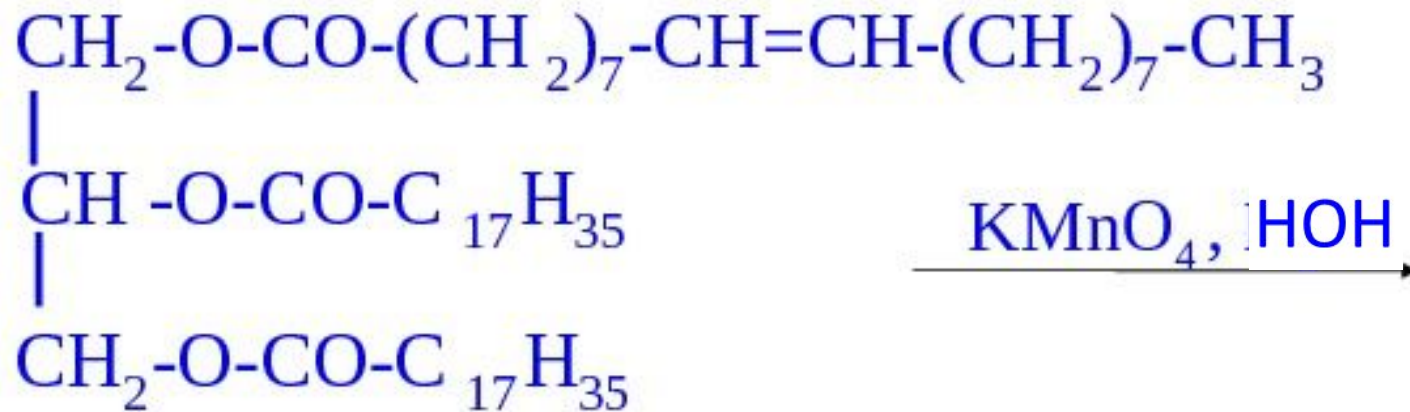


Реакция окисления

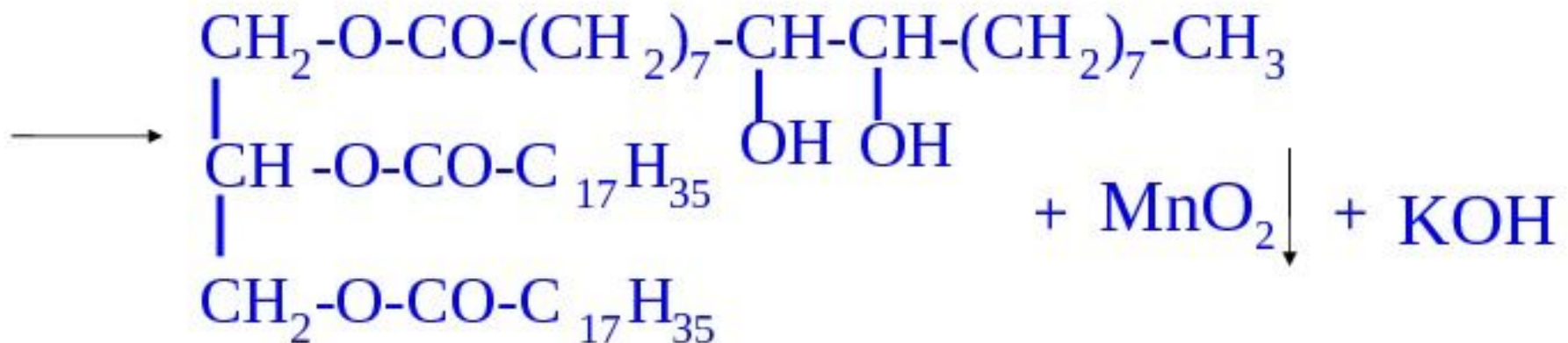


Реакция окисления

Реакция мягкого окисления

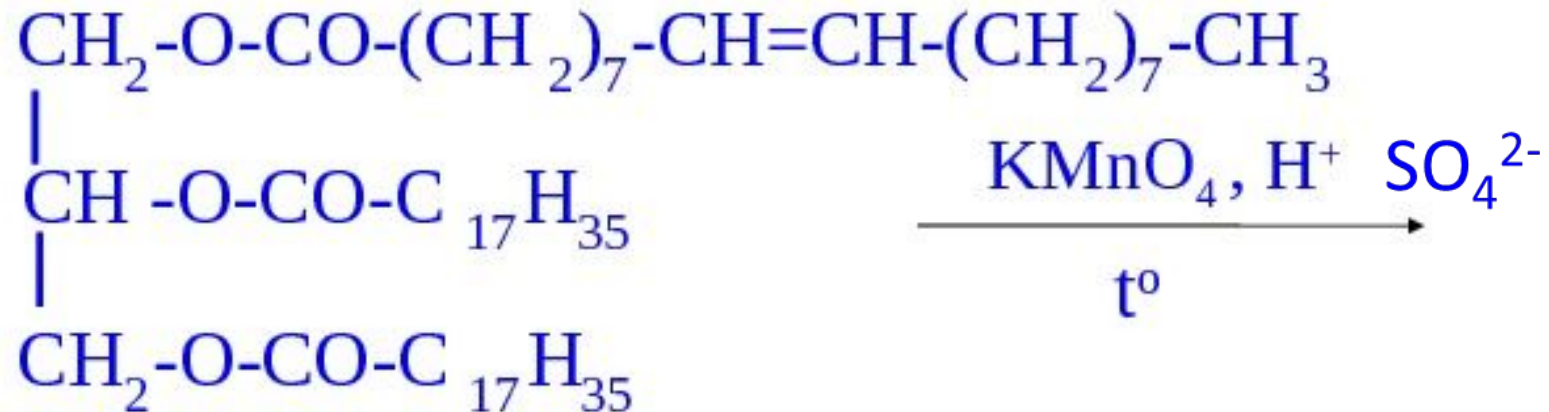


α -олео- α' , β -дистеарин

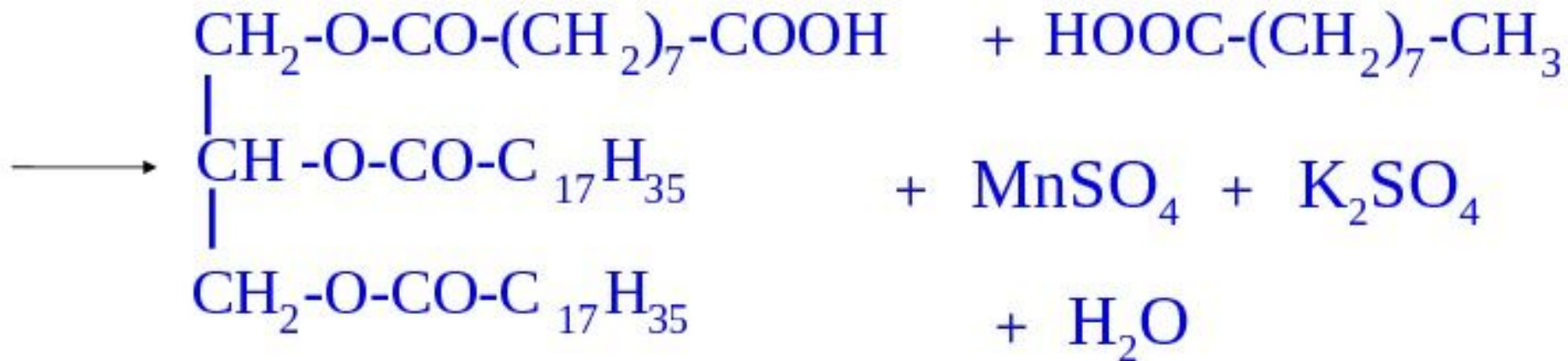


Реакция окисления

Реакция жесткого окисления



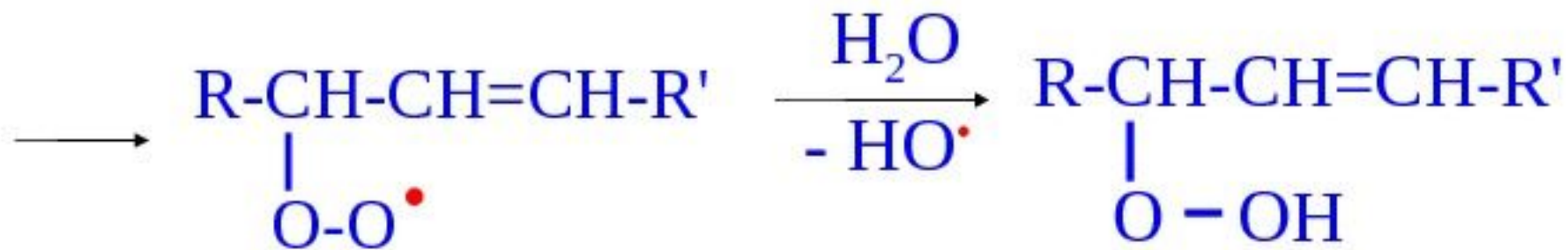
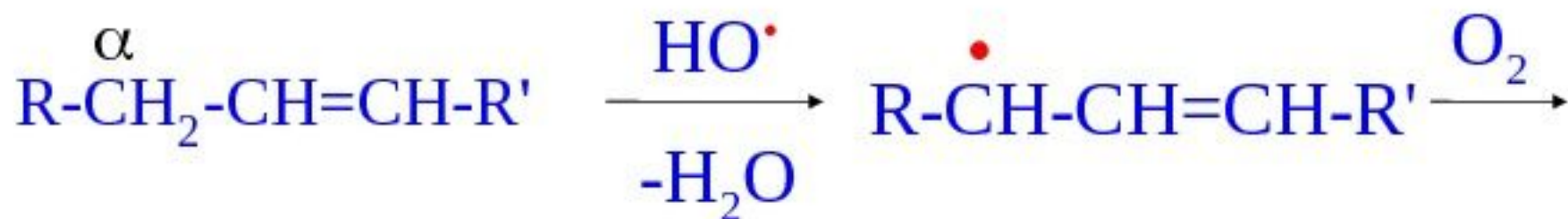
α -олео- α' , β -дистеарин



Реакция окисления

Реакция пероксидного окисления (прогоркание)

под действием кислорода воздуха при хранении



пероксид

гидропероксид



Клеточное ядро

Митохондрии

Жир

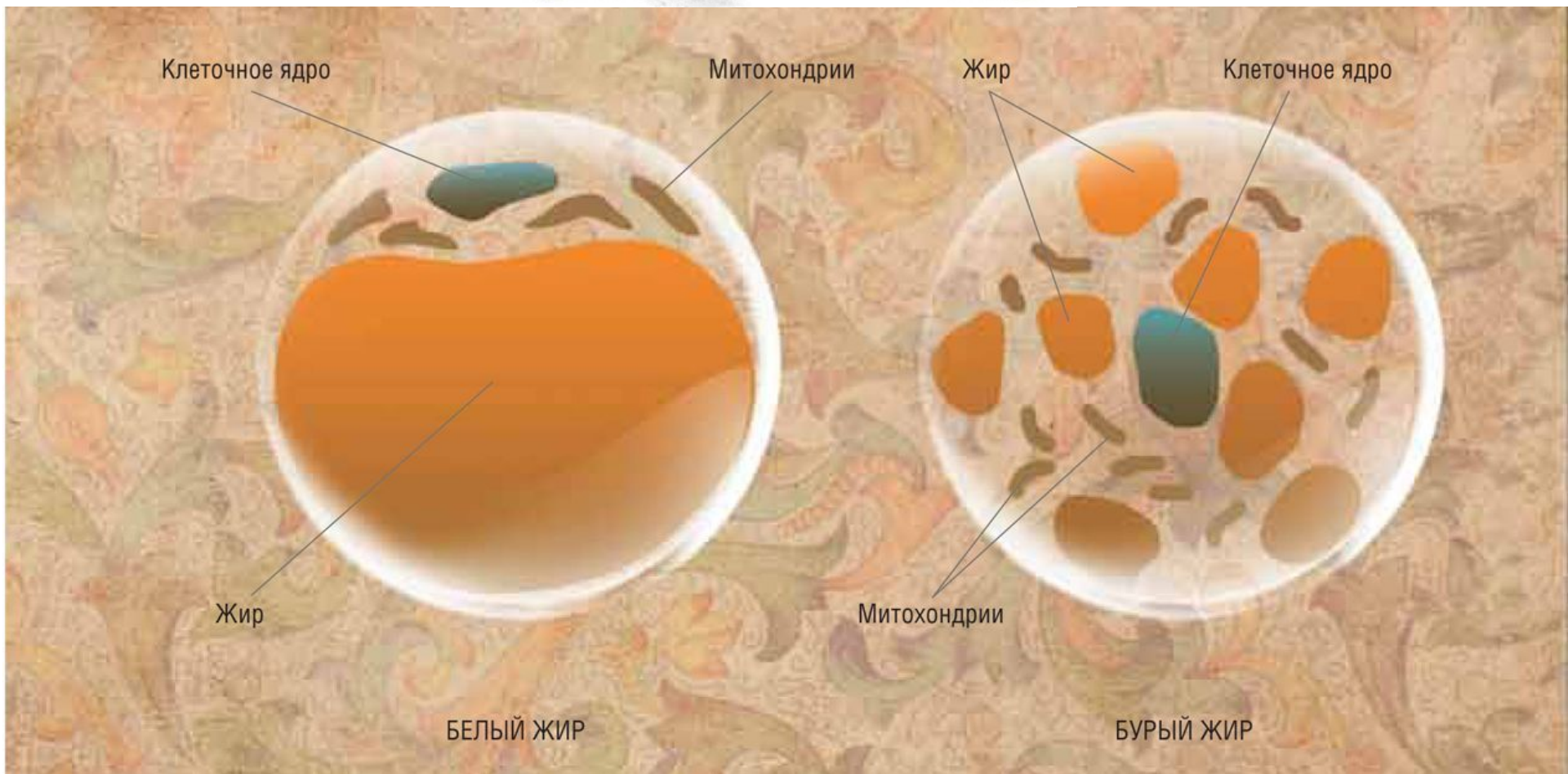
Клеточное ядро

Жир

Митохондрии

БЕЛЫЙ ЖИР

БУРЫЙ ЖИР



Бурый или «коричневый» жир

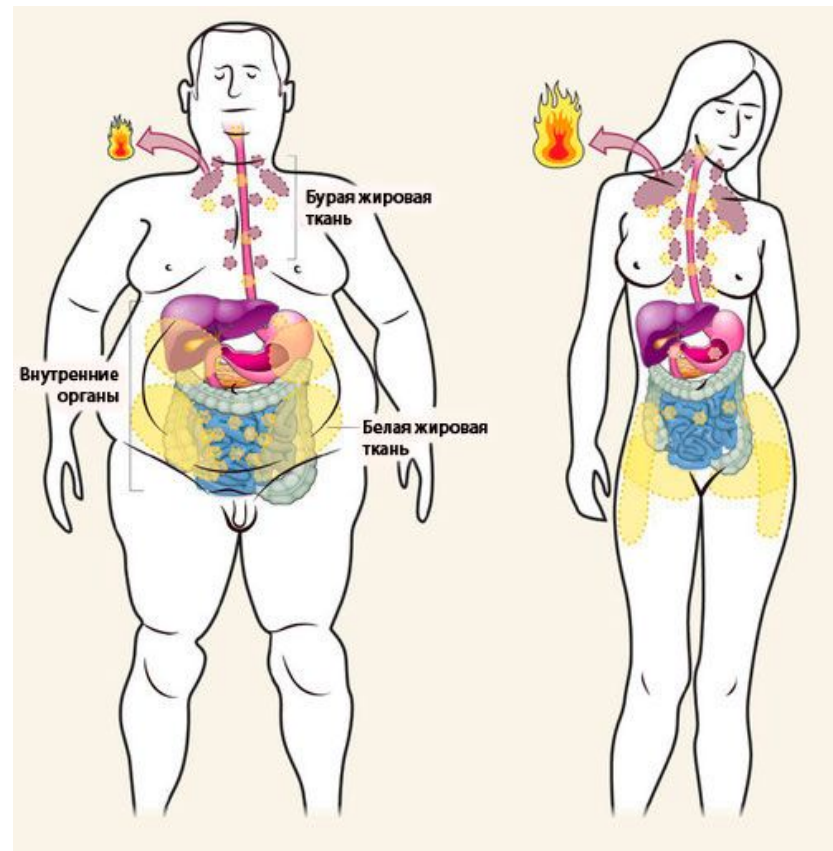
у

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



Бурый или «коричневый» жир

- **Бурый жир** (второе название – «коричневый» жир) ученые изучали на протяжении нескольких лет. Бурый жир – теплогенерирующий тип жира, который вместо того, чтобы накапливать энергию, наоборот, сжигает ее. Такая способность бурого жира имеет большое значение для нормализации веса.



- Бурый жир является **источником эндогенной воды**.



Белый (абдоминальный и висцеральный) жир

ВИСЦЕРАЛЬНЫЙ ЖИР



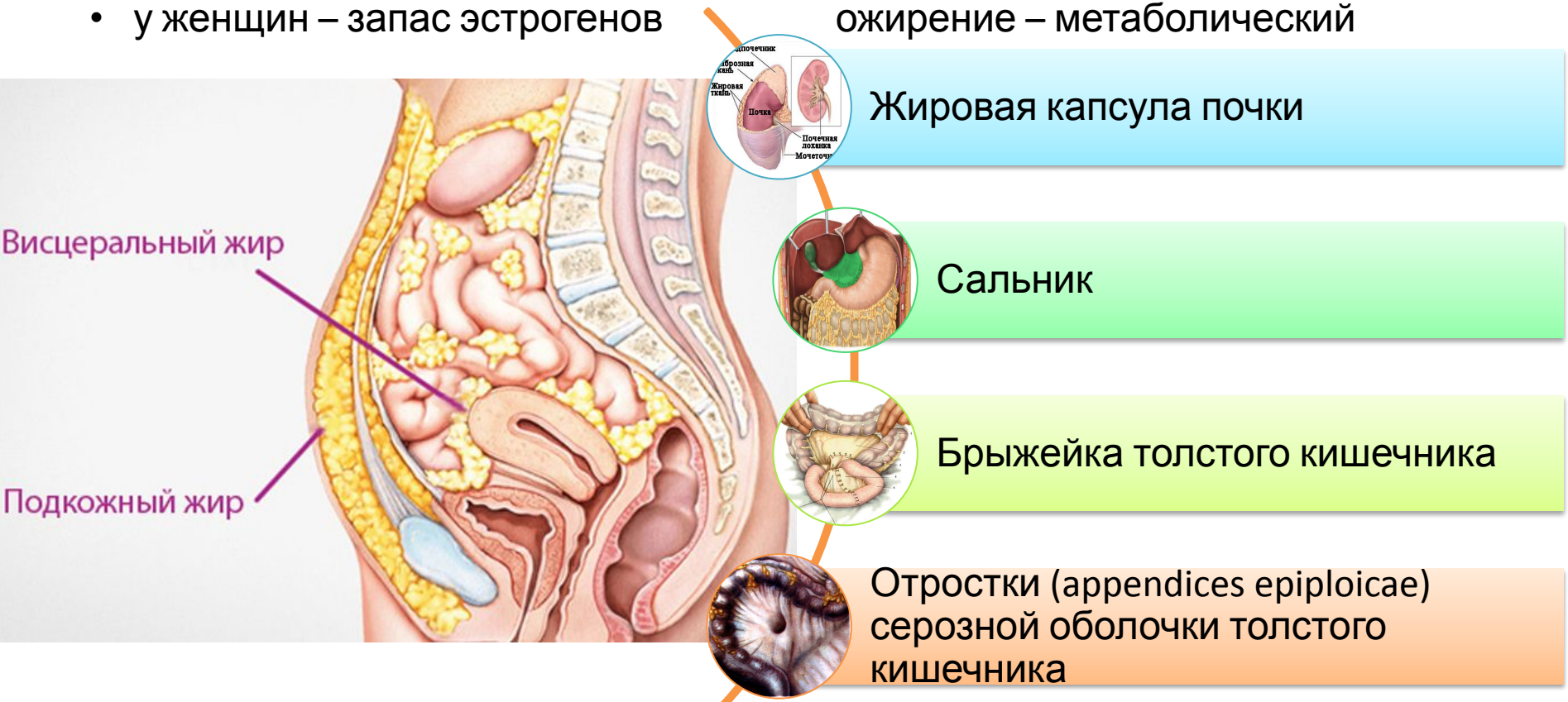
Белый жир

Подкожная жировая клетчатка

- функция эндокринного органа для всего организма
- у женщин – запас эстрогенов

Абдоминальный жир

- защитная функция
- избыток опасен (абдоминальное ожирение – метаболический)



СЛОЖНЫЕ ЛИПИДЫ. ФОСФОЛИПИДЫ

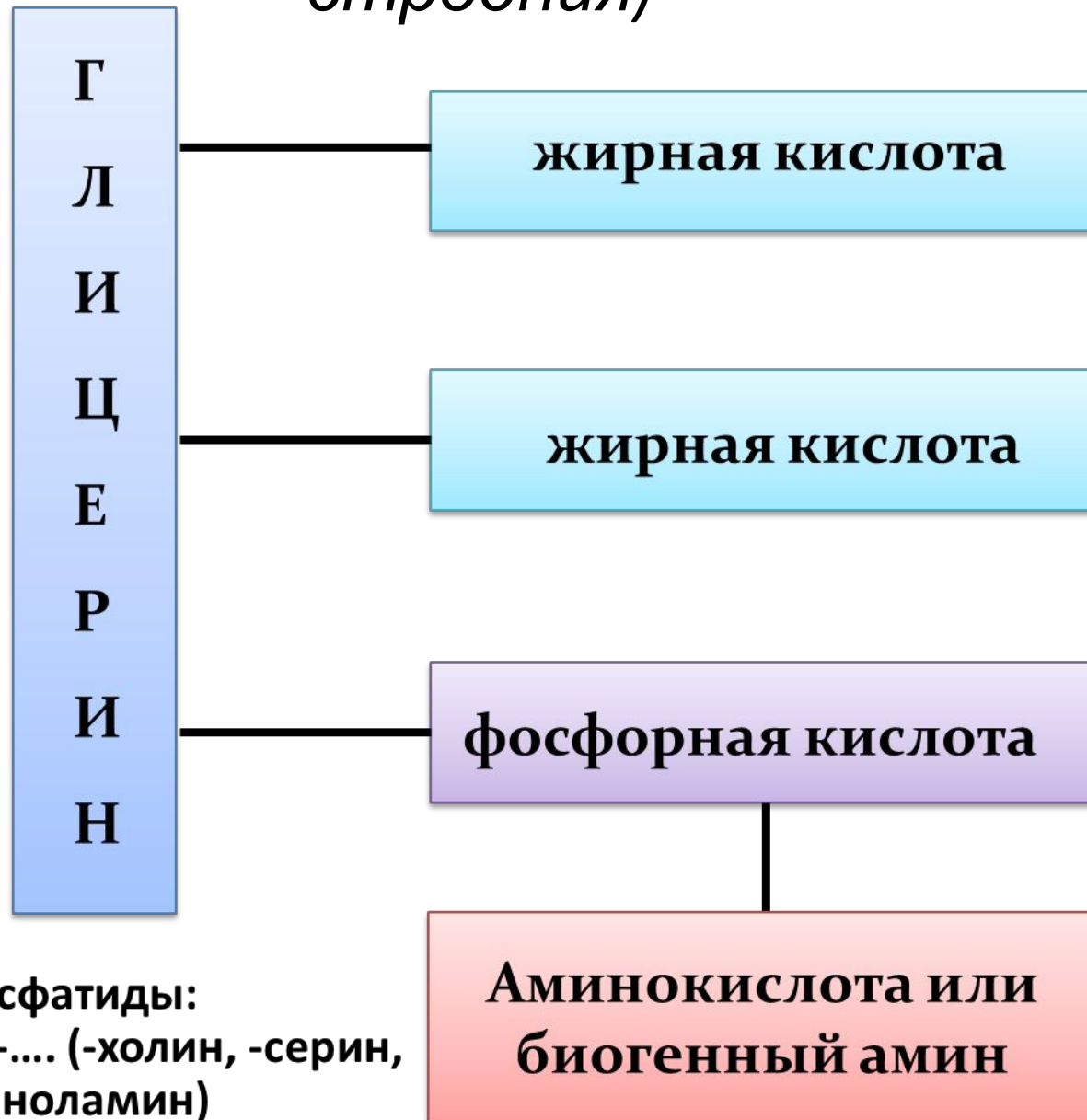
- **Фосфолипиды** содержат гидрофобную и гидрофильную области и поэтому обладают **амфифильными свойствами**, т.е. они способны растворяться в неполярных растворителях и образовывать стойкие эмульсии с водой.
- Фосфолипиды в зависимости от наличия в их составе спиртов глицерина и сфингозина делятся на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

Фосфолипиды (схема строения)



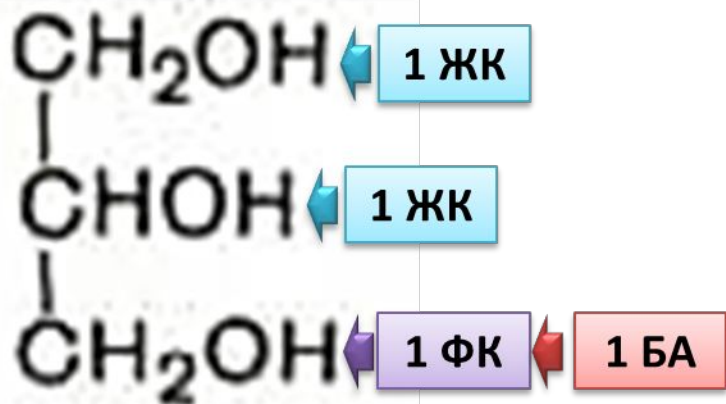
| Компоненты | Формулы и названия | |
|--|---|--|
| 1. Основа – <u>спирт</u> | <p style="text-align: center;">Глицерин</p> $\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{OH} \\ \\ \text{CH}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2-\text{OH} \end{array}$ <p style="text-align: center;">Соответственно – <u>ГлицероФЛ</u></p> | <p style="text-align: center;">Сфингозин</p> $\begin{array}{c} \text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{12}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{NH}_2 \\ \\ \text{CH}_2-\text{OH} \end{array}$ <p style="text-align: center;">Соответственно – <u>СфингоФЛ</u></p> |
| 2. Остатки жирных кислот (2 или 1) | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Насыщенная (C₁₆-C₁₈)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Амидная связь</div> </div> $\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}_1 \\ \\ \text{CH}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}_2 \\ \\ \text{CH}_2-\text{OH} \end{array}$ <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Ненасыщенная (C₁₆-C₂₀)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Амидная связь</div> </div> $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \parallel \\ \text{H}-\text{C}-\text{N}-\text{C}-\text{R} \\ \\ \text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{12}-\text{CH}=\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2-\text{OH} \end{array}$ <p style="text-align: center;"><u>Диглицерин</u> <u>Керамид</u></p> | |
| 3. Остаток фосфорной кислоты (H ₃ PO ₄) | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 10px;">Самый простой фосфолипид - основа всех глицероФЛ</div> $\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}_1 \\ \\ \text{CH}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}_2 \\ \\ \text{CH}_2-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{P}}-\text{OH} \\ \\ \text{OH} \end{array}$ <p style="text-align: center;"><u>Фосфатидная кислота</u></p> | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \parallel \\ \text{H}-\text{C}-\text{N}-\text{C}-\text{R} \\ \\ \text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{12}-\text{CH}=\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{HO}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{P}}-\text{OH} \end{array}$ <p style="text-align: center;"><u>Фосфокерамид</u></p> |
| 4. Азотистое основание | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 20px;">Серин</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 20px;">Этаноламин</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Холин</div> </div> $\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2 \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\overset{+}{\text{N}}(\text{CH}_3)_3 \end{array}$ | |
| Названия ФЛ | <p>В основе – название фосфатидной кислоты: фосфатидил + название азотистого основания.</p> <p>Фосфатидил-серин Фосфатидил-этанолламин Фосфатидил-холин (лецитины)</p> | <p>Наиболее часто сфингоФЛ содержат азотистое основание холин. Их называют сфингомиелины. Отличаются друг от друга остатками жирных кислот (от C₁₆ до C₂₄)</p> |
| Местонахождения | Фосфоглицериды широко распространены в растениях, клетках животных и микроорганизмах | Впервые сфингомиелины были обнаружены в нервной ткани. Входят с липиды крови, встречаются во многих тканях в малых количествах |

Глицерофосфолипиды (схема строения)

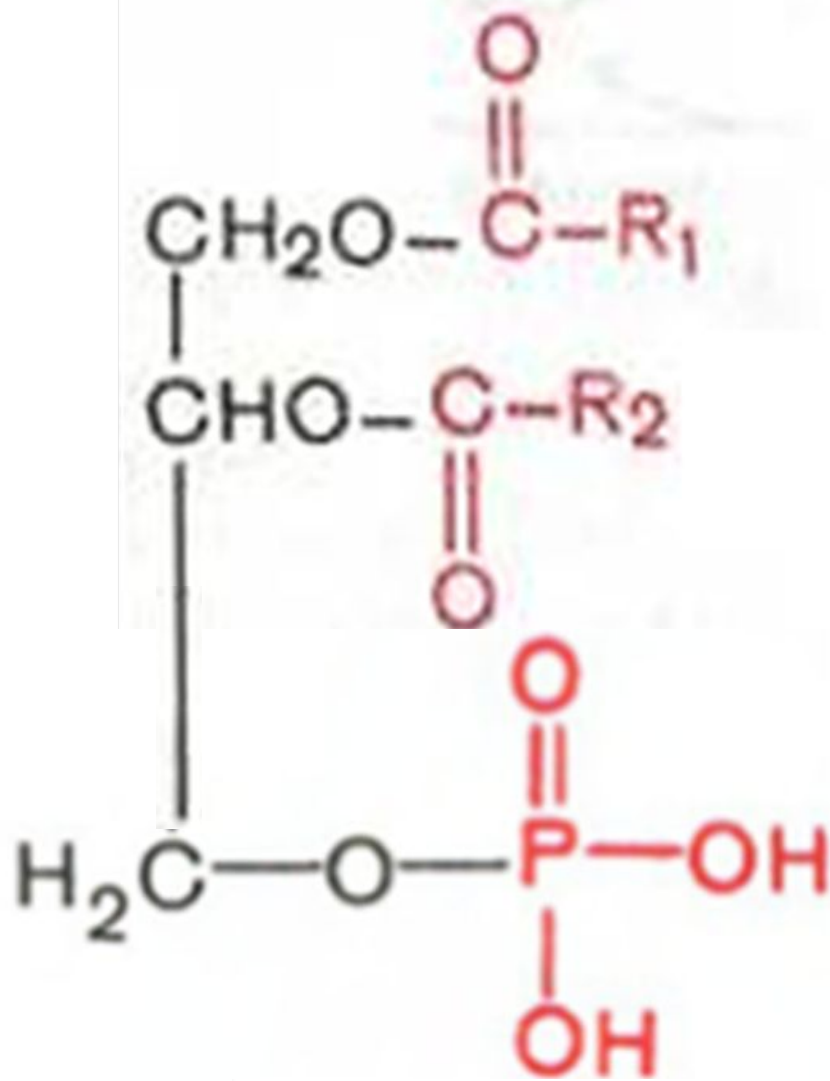


Фосфатиды:
фосфатидил-.... (-холин, -серин,
-этаноламин)

ГЛИЦЕРИН И ФОСФАТИДАТ



Глицерин



Дифосфатидная кислота
(фосфатидат)

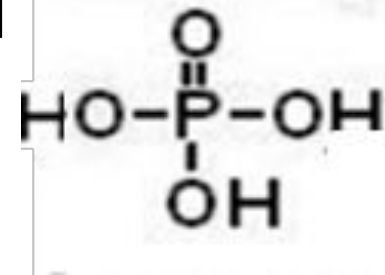
Компоненты фосфатидов

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

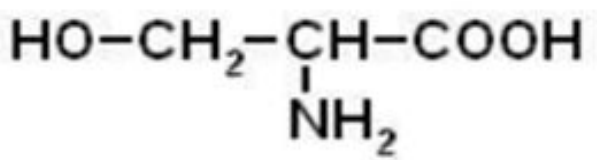
фосфатидилсерины (этерифицирующий компонент – серин);

фосфатидилэтанолламины (этерифицирующий компонент - этаноламин);

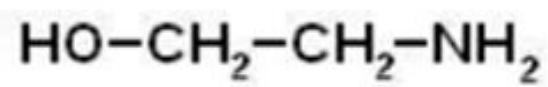
фосфатидилхолины (этерифицирующий компонент – холин).



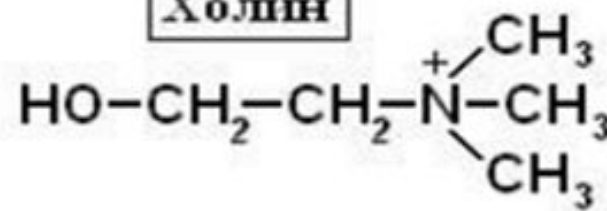
Серин



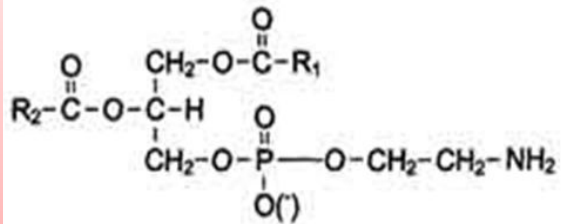
Этаноламин



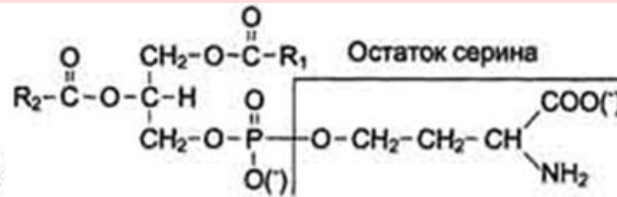
Холин



Примеры фосфатидов (глицероФЛ)



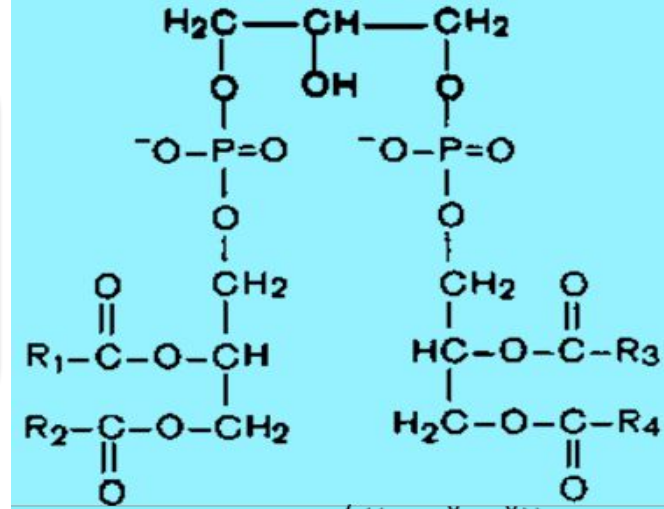
Фосфатидилэтаноламин (коламинкефалин)



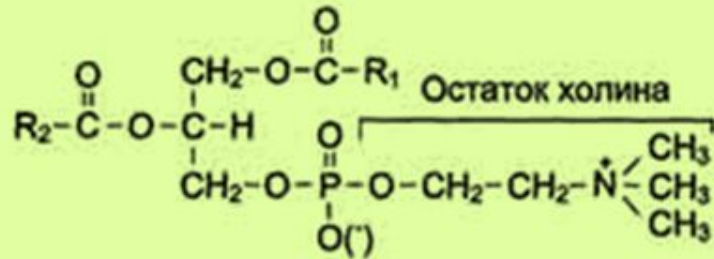
Фосфатидилсерин (серинкефалин)

кефалин

ы

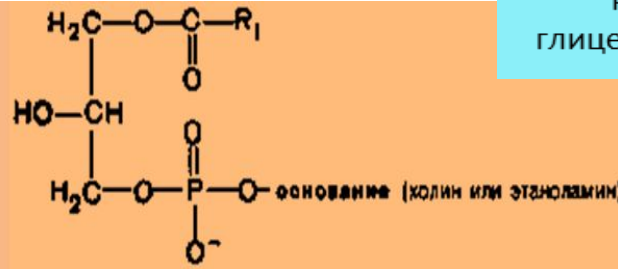


кардиолипин («двойной» глицероФЛ, дифосфатидилглицерол)

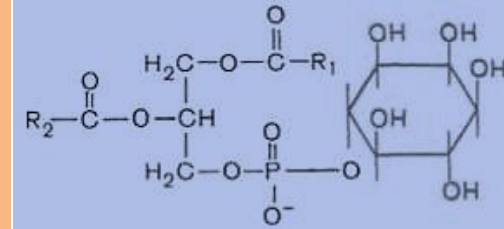


лецитины (ФЛ

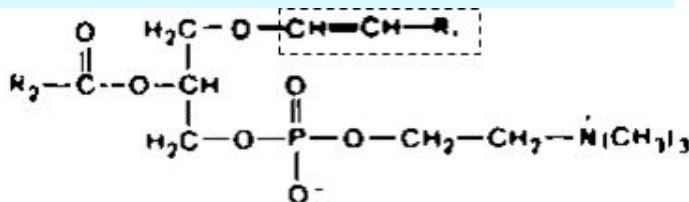
ЦПМ) Фосфатидилхолин (лецитин)



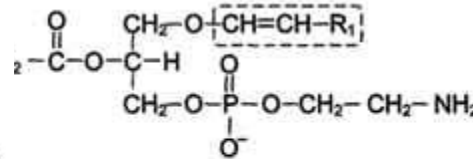
лизоФЛ (лизофосфатидилхолин или лизофосфатидилэтаноламин) - сильное гемолитическое действие



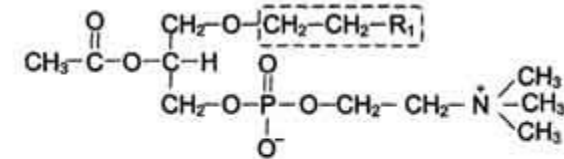
Фосфатидилинозитол



Фосфатидальхолин

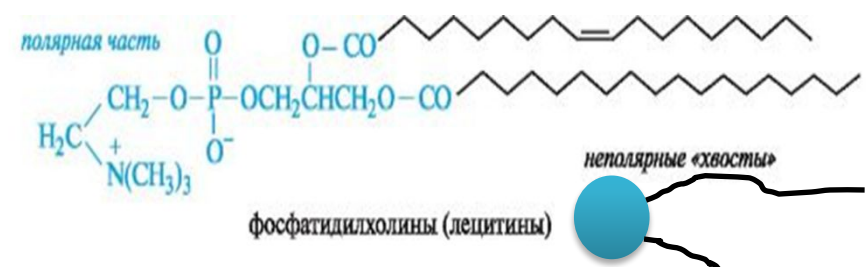
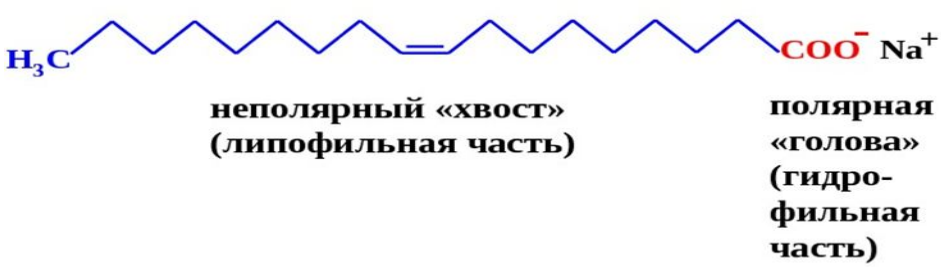


А. Фосфатидальэтаноламин



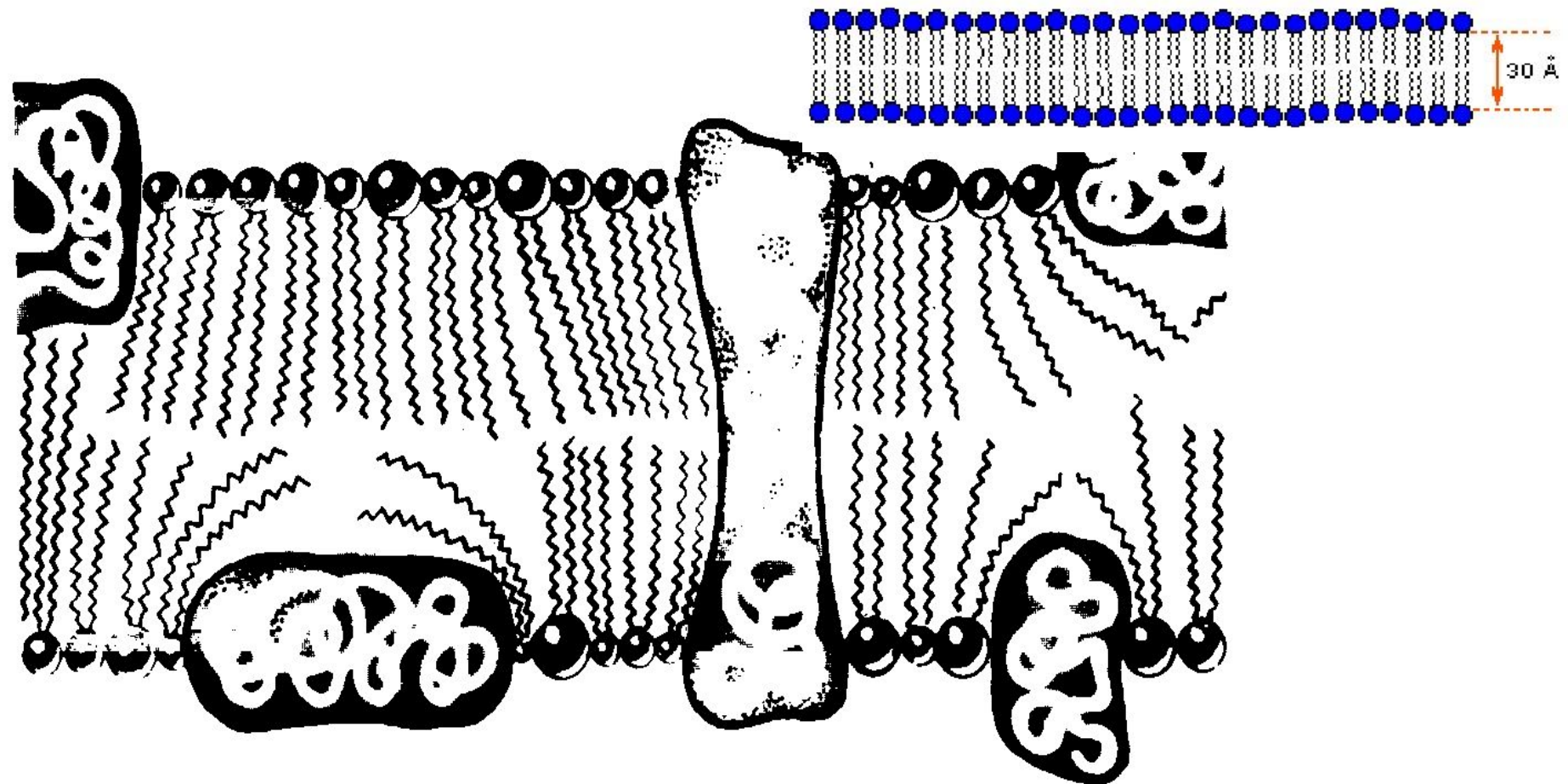
Б. Тромбоцитактивирующий фактор (1-алкил, 2-ацетил-глицерол-3-фосфохолин)

плазмалоген

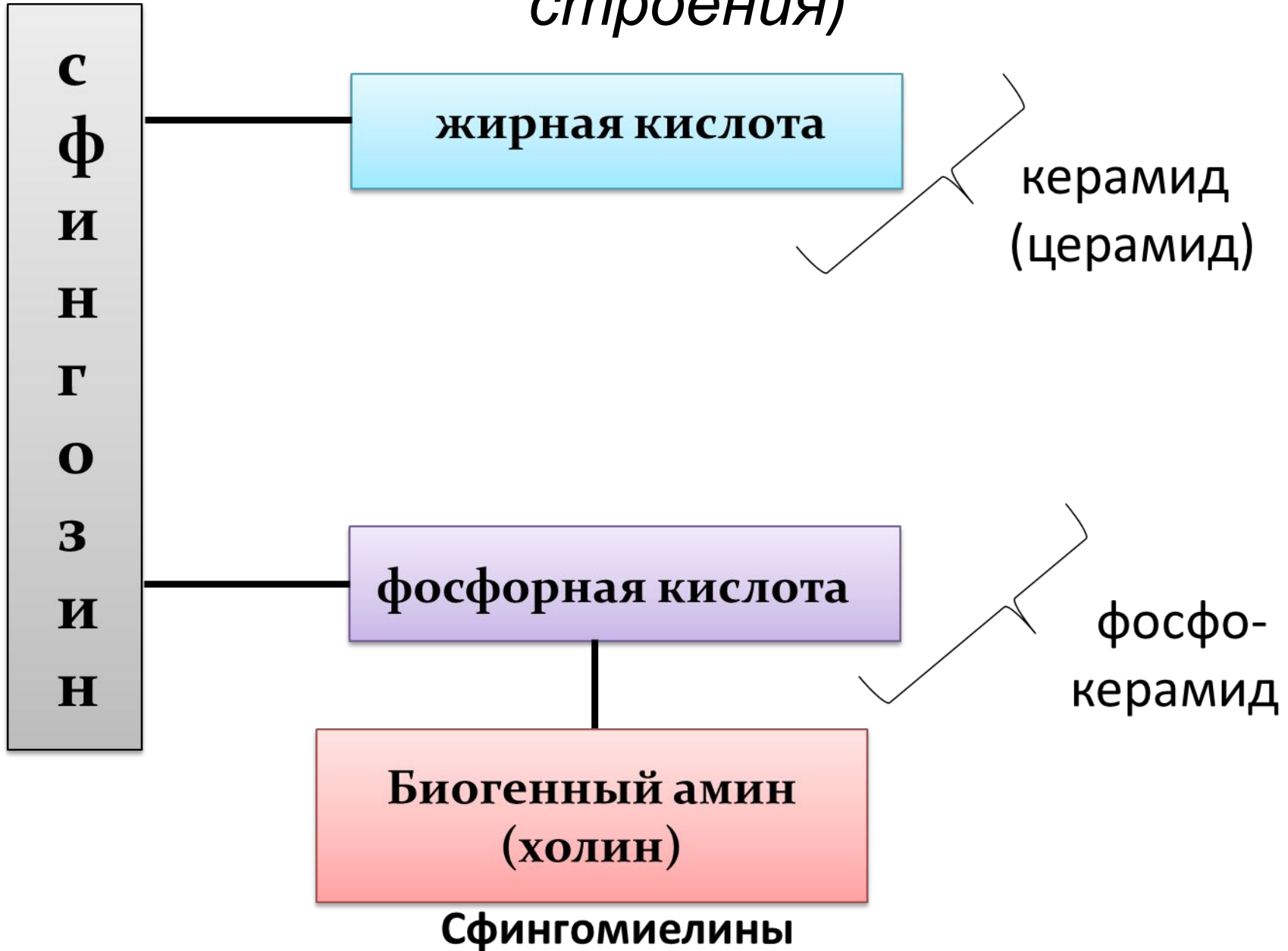


Липидный бислой

Схема строения клеточной мембраны.



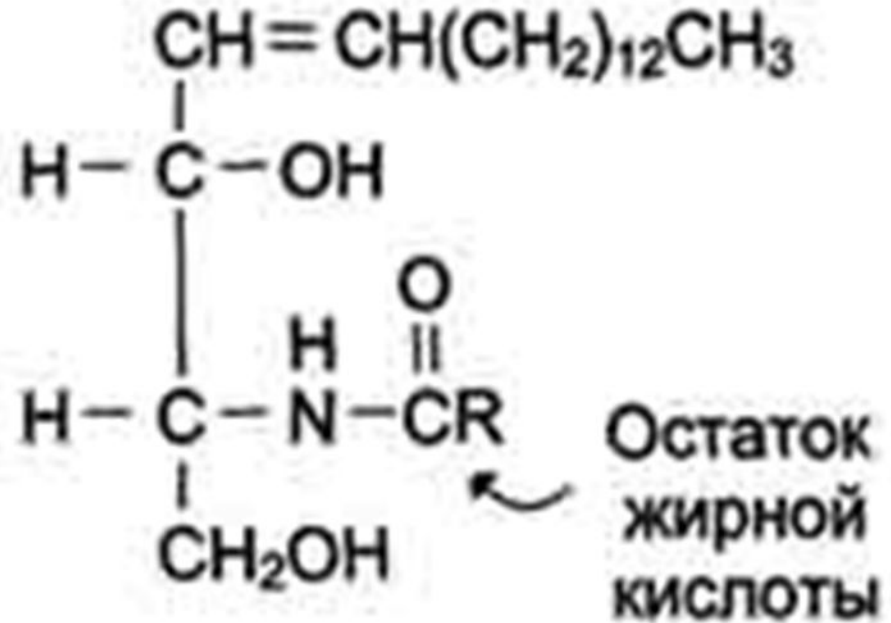
Сфингофосфолипиды (схема строения)



СФИНГОЗИН И ЦЕРАМИД



Сфингозин

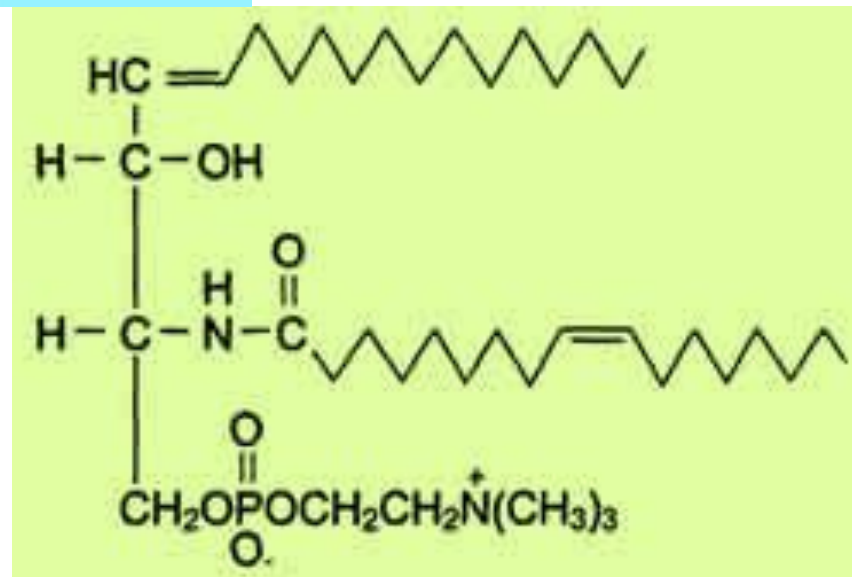


Церамид
N-ацилсфингозин

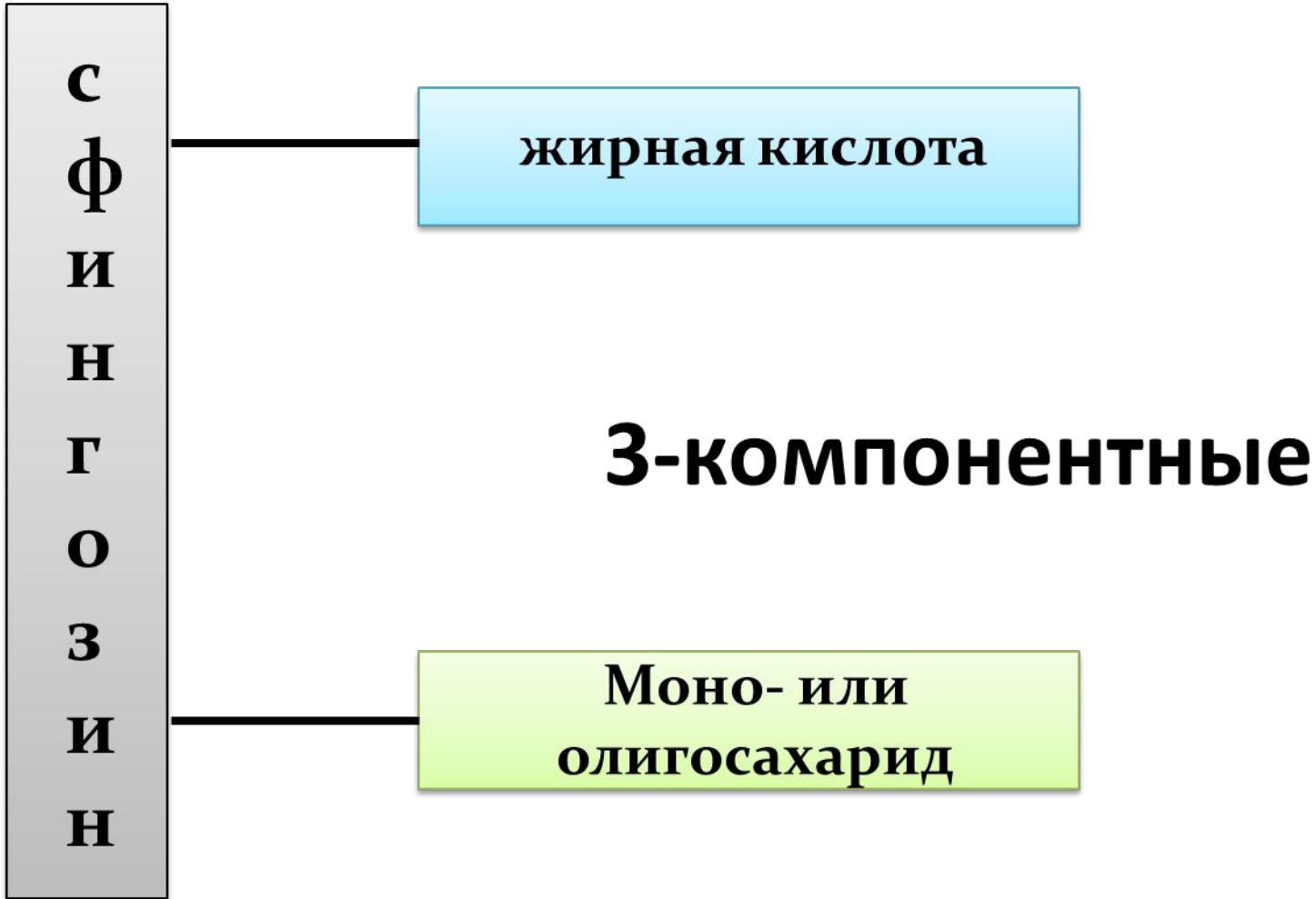
Примеры сфингофл



сфингомиелины



Гликолипиды (схема строения)

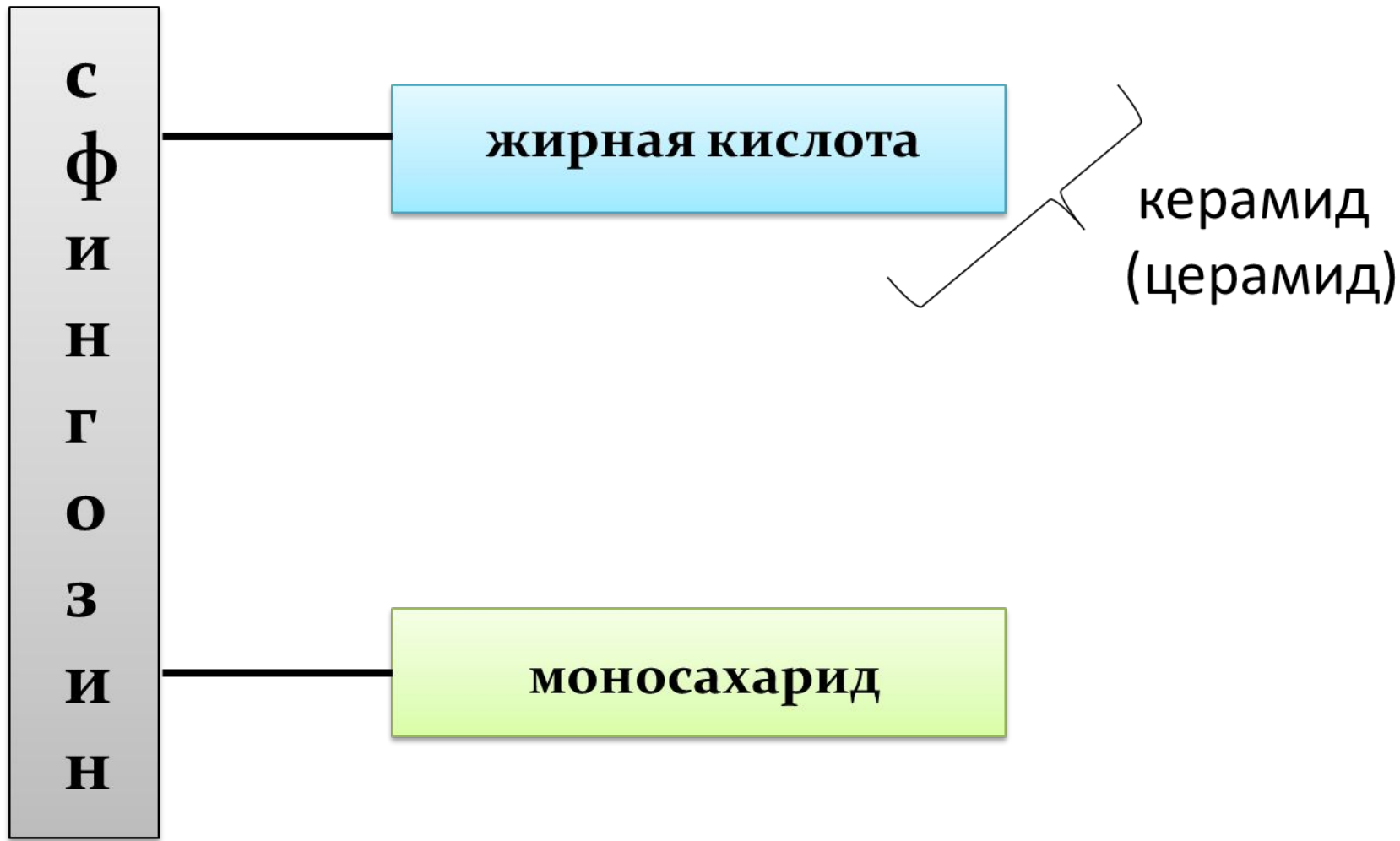


ГЛИКОЛИПИДЫ

- **ГЛИКОЛИПИДЫ** 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).

| Компоненты | Формулы и названия | |
|---|---|---|
| 1. Спирт – сфингозин 2. Остаток жирной кислоты | <div style="text-align: center;">  <p>Амидная связь</p> <p>Керамид</p> </div> <p>В состав гликолипидов входят разные жирные C24 кислоты (лигноцериновая, нервоновая). Часто они содержат остаток цереброновой кислоты (2-гидроксилигноцериновая кислота). Делятся на две группы в зависимости от углеводного компонента.</p> | |
| 3. Углеводный остаток | <p>Моносахарид (чаще всего β-D-галактоза, реже – β-D-глюкоза) <u>Цереброзиды</u></p> | <p>Олигосахариды (чаще – ди-, три- и тетрасахариды) <u>Ганглиозиды</u></p> |
| | <div style="text-align: center;">  <p>Гликозидная связь</p> <p>Галактоцереброзид</p> </div> | <div style="text-align: center;">  <p>Гликозидная связь</p> <p>Один из ганглиозидов человека. Все молекулы обязательно содержат хотя бы один остаток сиаловой кислоты</p> </div> |
| <p>Местонахождение молекул</p> | <p>Цереброзиды в наибольших количествах содержатся в миелиновых оболочках нервов.</p> | <p>Ганглиозиды были выделены из серого вещества мозга. Широко распространены и в других тканях</p> |

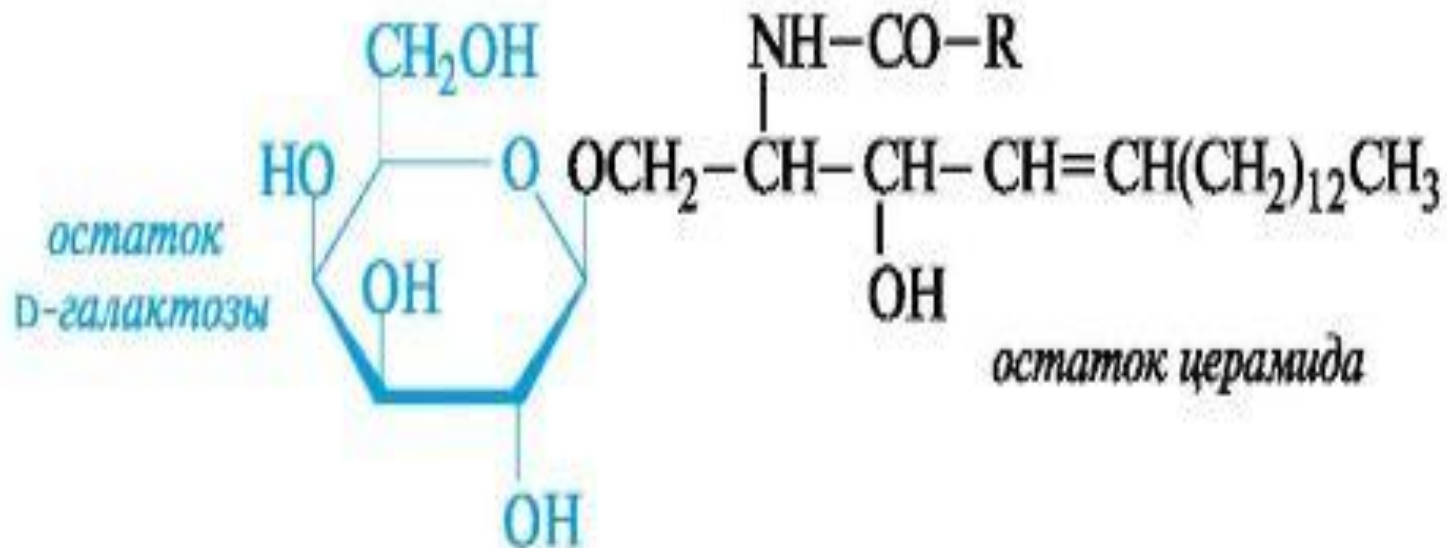
Цереброзиды (схема строения)



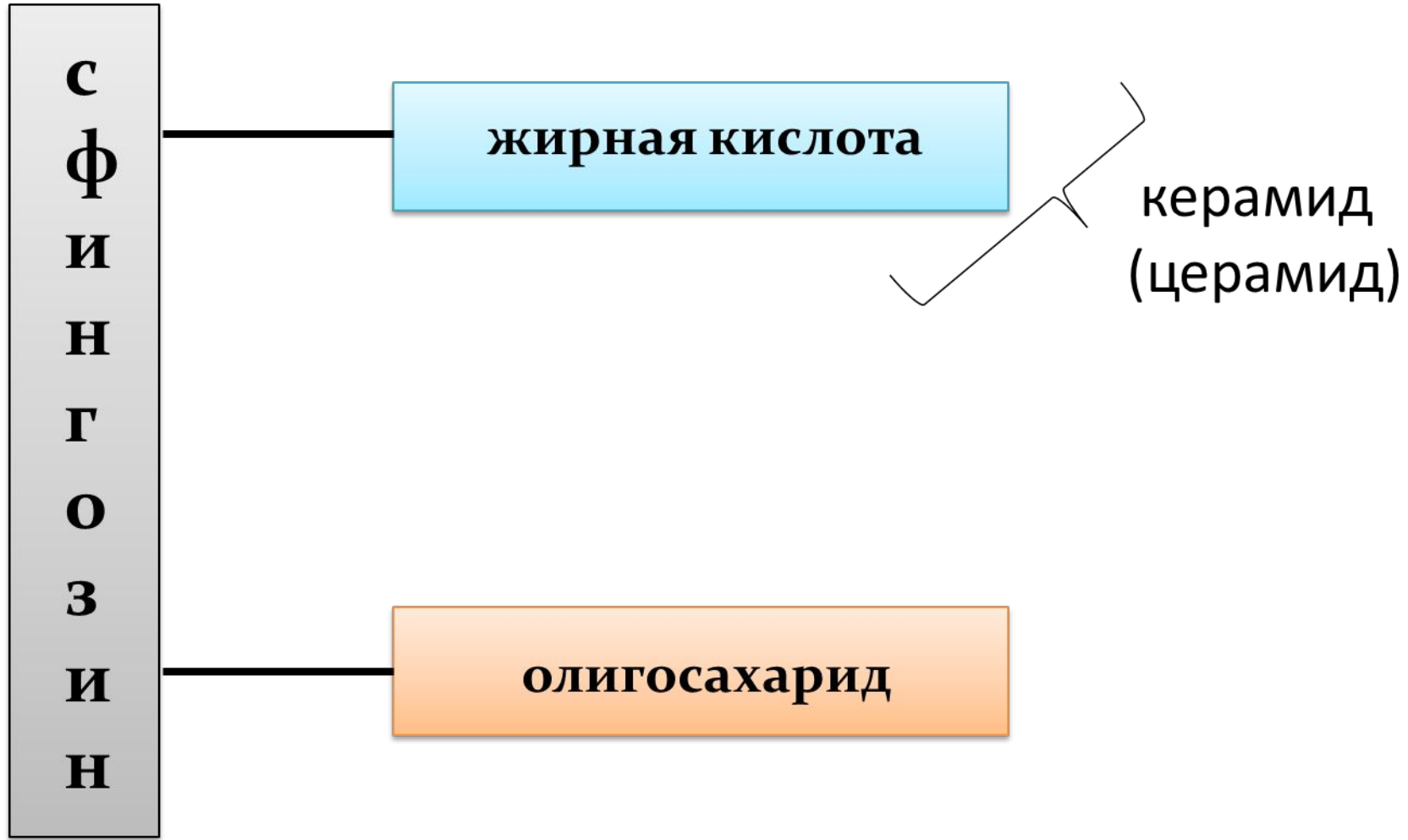
ЦЕРЕБРОЗИДЫ

- В *цереброзидах* остаток церамида связан с D-галактозой или D-глюкозой β-гликозидной связью. Цереброзиды (галактоцереброзиды, глюкоцереброзиды) входят в состав оболочек нервных клеток.

ОБЩАЯ СТРУКТУРА ГАЛАКТОЦЕРЕБРОЗИДОВ

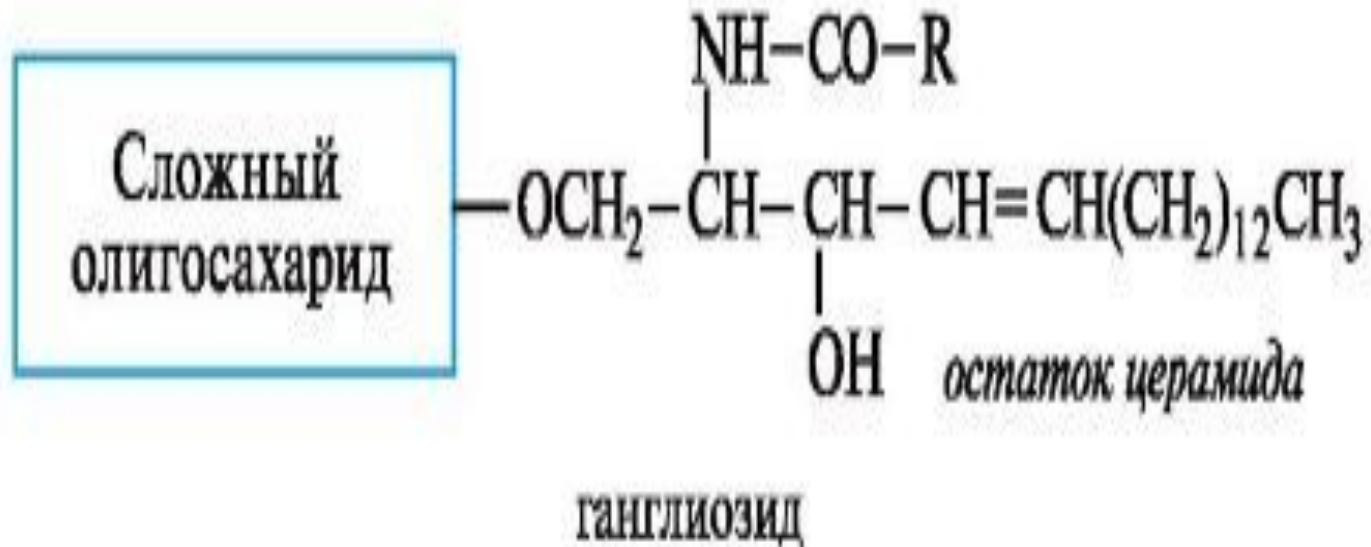


Ганглиозиды (схема строения)

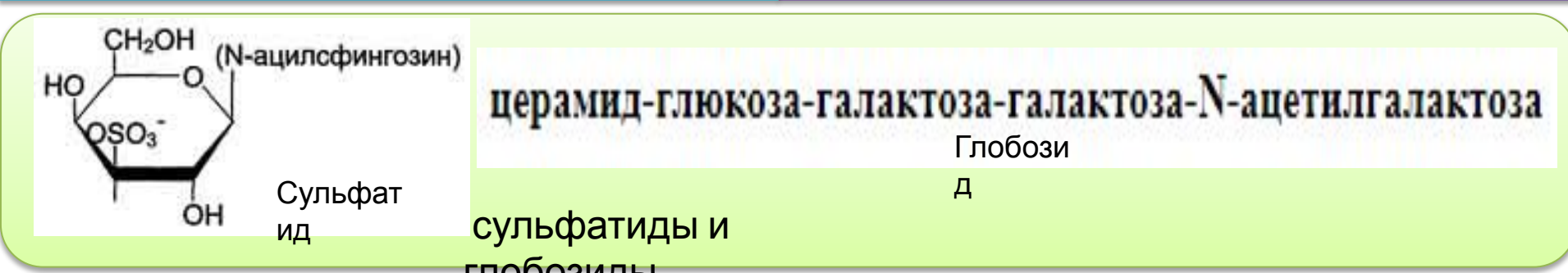
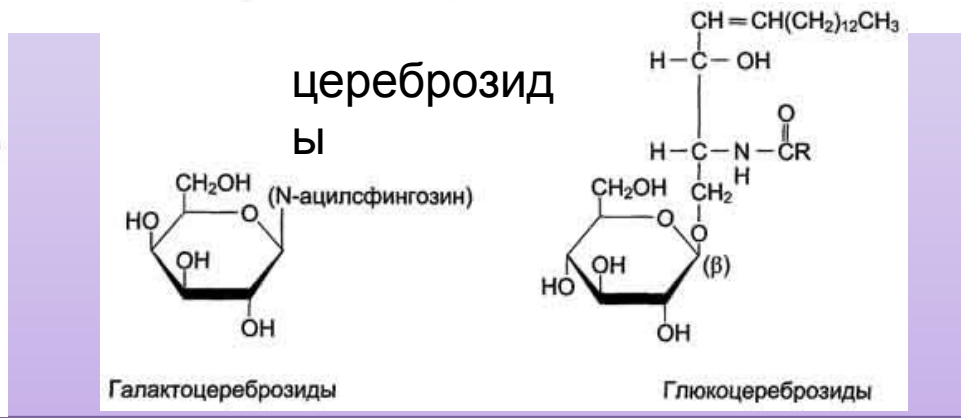
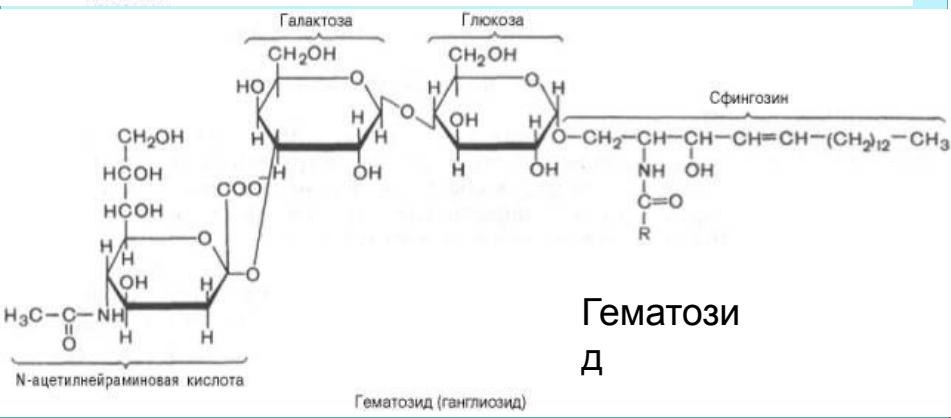
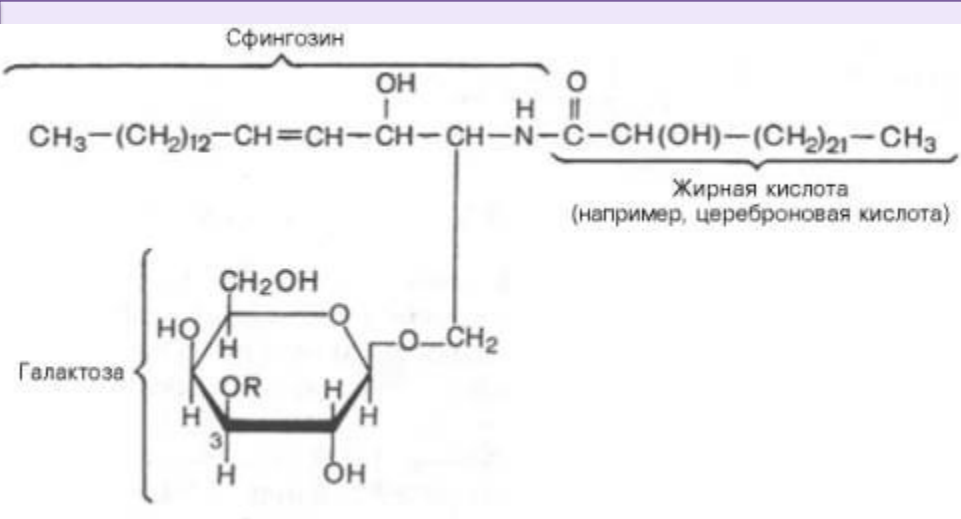
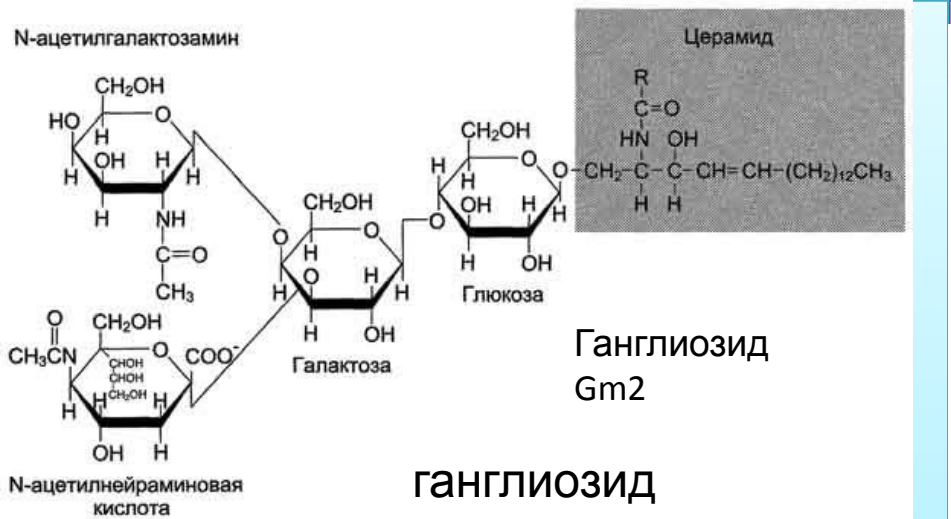


ГАНГЛИОЗИДЫ

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.



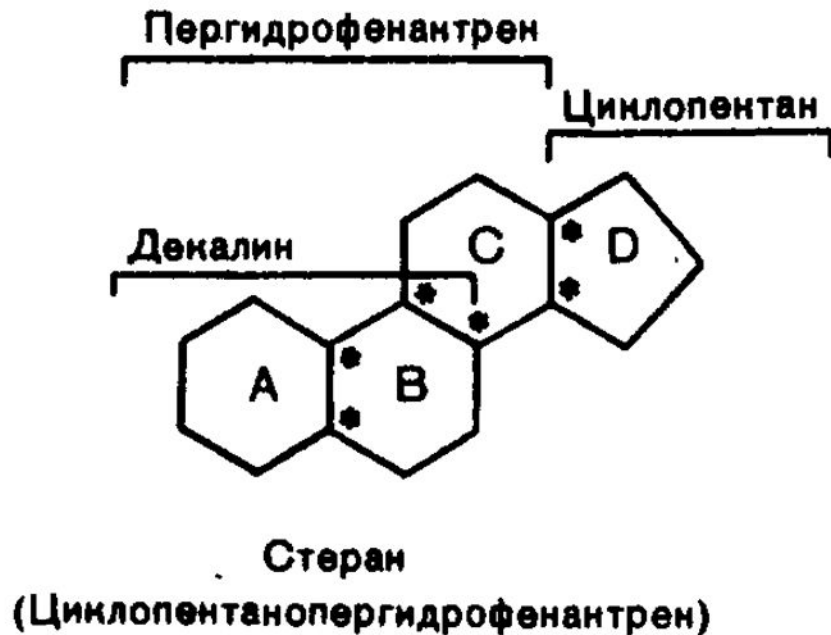
Примеры ГЛ (ГЛИКОСФИНГОЛИПИДЫ, церамиды)



Неомыляемые липиды

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

СТЕРОИДЫ



Стероиды имеют циклическое строение. В основе их структуры лежит структура

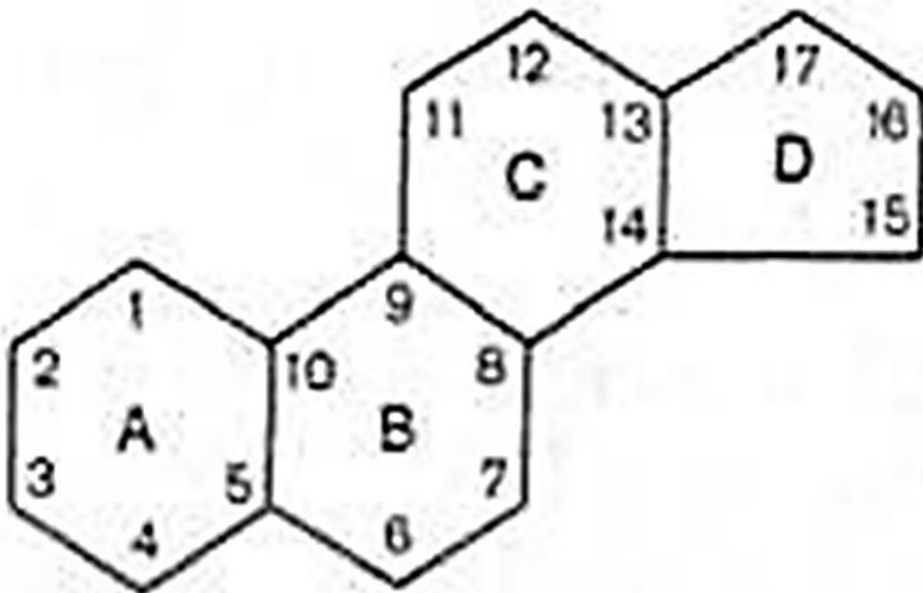
циклопентанопергидрофенантрена (стерана),

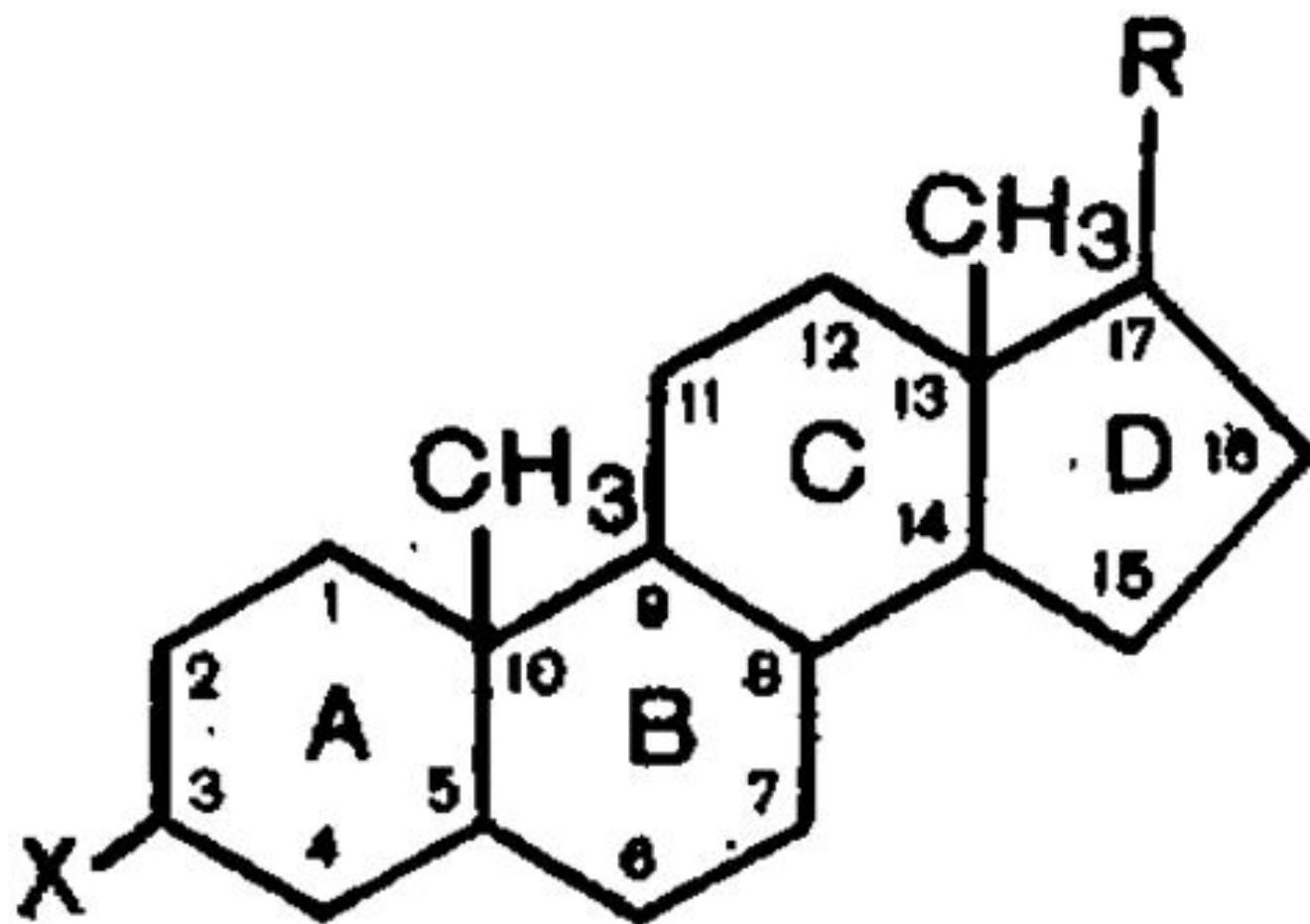
состоящего из трех конденсированных

циклогексановых колец (А, В, С) и циклопентанового

кольца D.

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





**Общий скелет стероидов
(X=OH, OR', O=C₃)**

СТЕРИНЫ (СТЕРОЛЫ) И СТЕРИДЫ

С
П
И
Р
Т

Стероиды – общее название молекул, содержащих стерановое кольцо (включают и стерины, и стериды)

Стерины (стеролы) – циклические спирты, имеющие в основе стерановое кольцо

Х
С

Стериды – эфиры стеринов (стеролов)

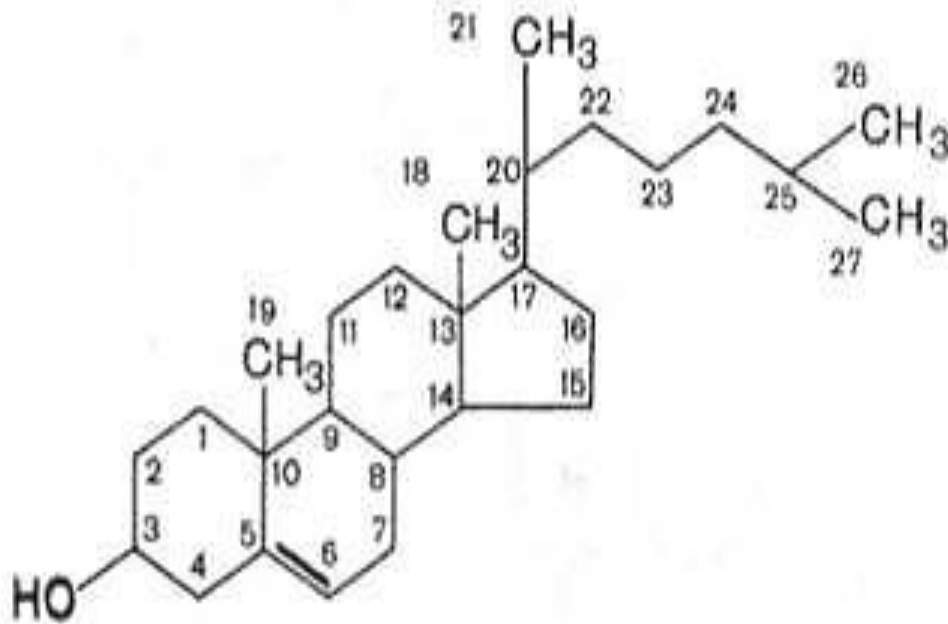
жирная кислота
(1-2 молекулы)

С
П
И
Р
Т

Х
С

ХОЛЕСТЕРИН

Холестерин входит в состав клеточных мембран и определяет их микровязкость.



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 D₃.

Роли холестерина в организме

ХОЛЕСТЕРИН

польза

материал для синтеза

Половые гормоны

Гормоны коры надпочечников

Витамин D

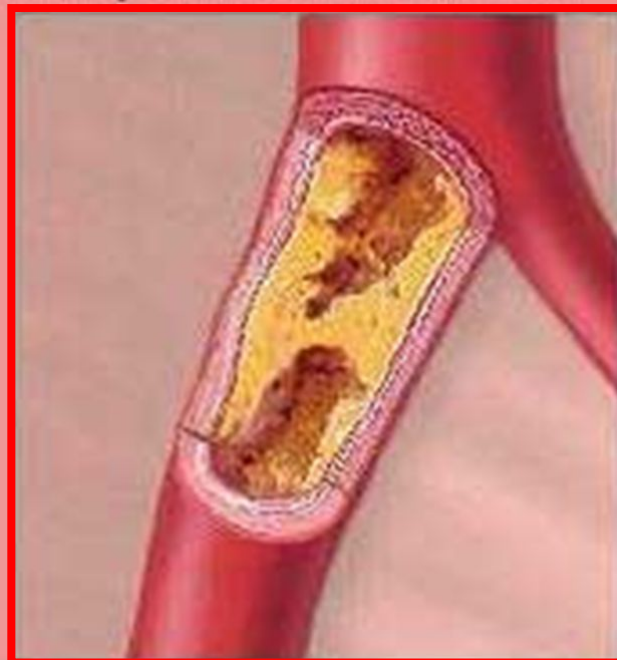
Желчные кислоты

Участвует в образовании кожно-жировой плёнки, секрет сальных желез

Входит в состав всех клеточных мембран (текучесть)

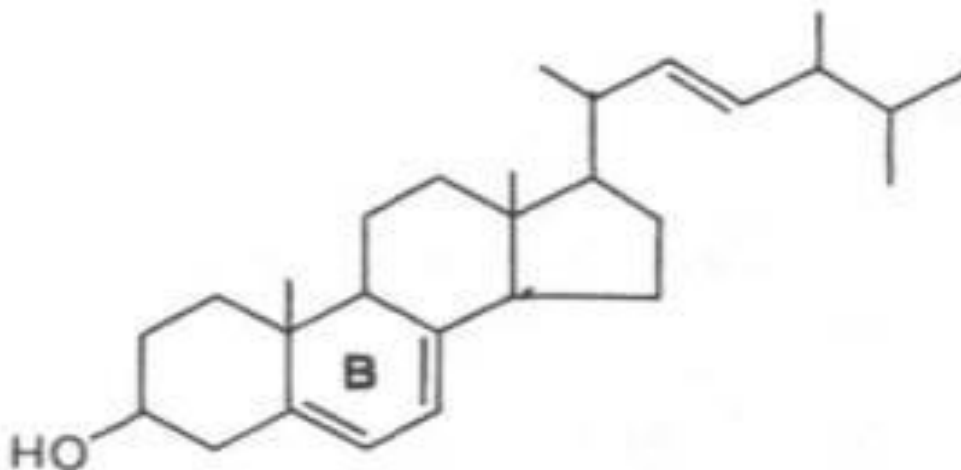
вред

Принимает участие в образовании атеросклеротических бляшек



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.

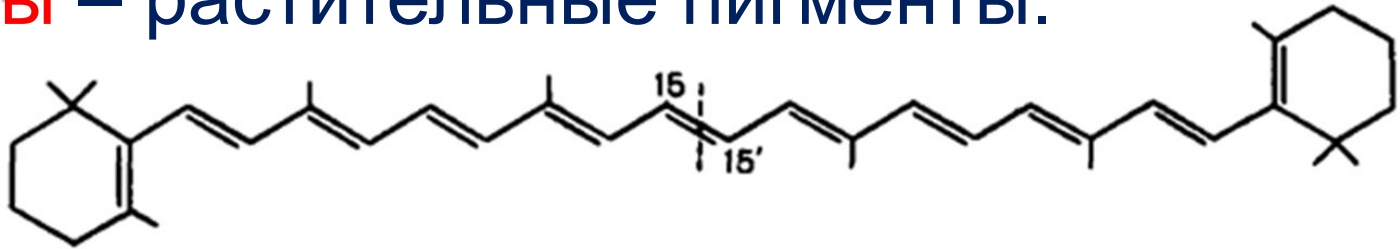


Эргостерин

ТЕРПЕНЫ (ИЗОПРЕНОИДЫ)

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.



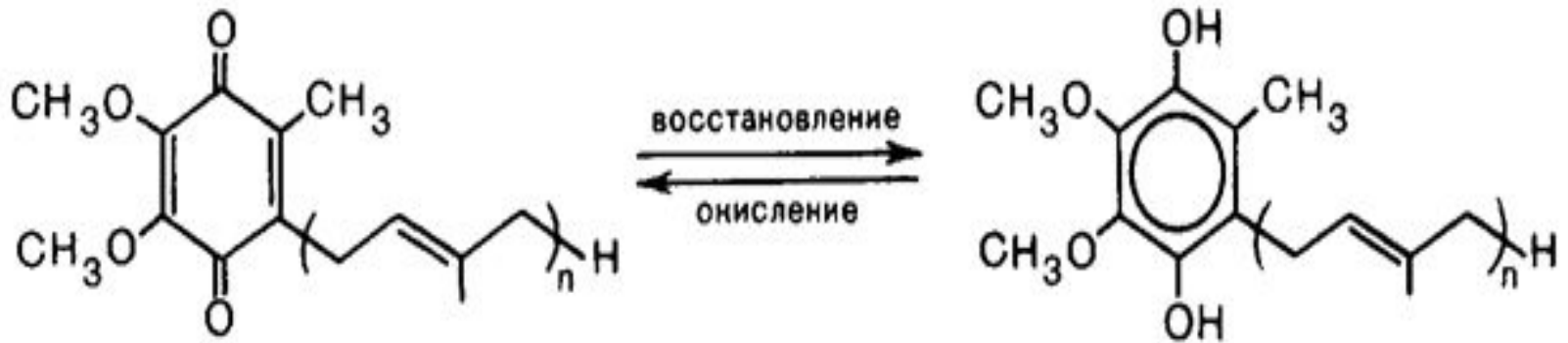
β -Каротин

Функции каротиноидов:

- выполняют функции витаминов;
- участвуют в процессе фотосинтеза.

Представители терпенов – α -, β - и γ -каротины, предшественники витаминов группы А.

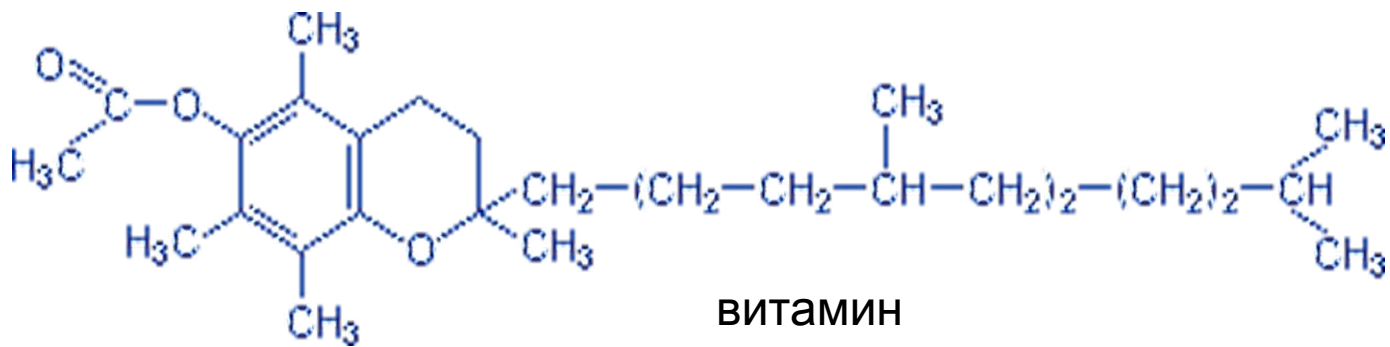
- К терпенам относятся и другие жирорастворимые витамины, такие как **витамины группы Е** (токоферолы), **витамины группы К**, а также **убихиноны**, способные к последовательному окислению (восстановлению) и выполняющие роль **переносчика восстановительных эквивалентов** в электрон-транспортной цепи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



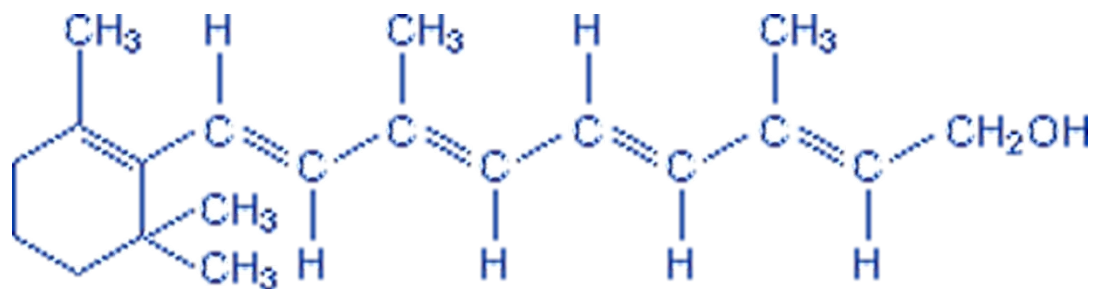
Убихиноны (кофермент Q, n=6–10)

Восстановленные убихиноны

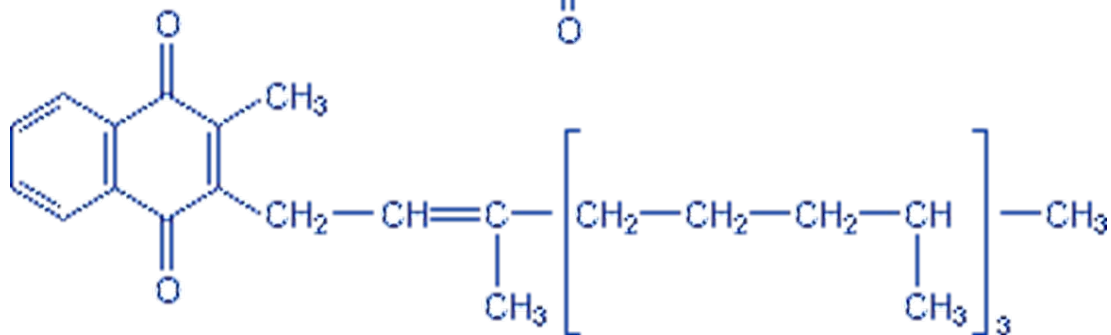
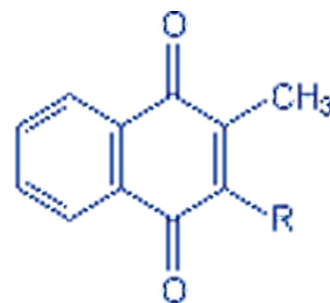
ТЕРПЕНЫ (ИЗОПРЕНОИДЫ)



ВИТАМИН
Е



ВИТАМИН
А



ВИТАМИН

жирорастворимые
витамины

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-COON**, 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*.

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 ω (омега)**. Отсчет положения двойных связей производится не как обычно от карбоксильной группы, а от **метильной группы**.

Так, линоленовая кислота обозначается как 18:3 ω -3 (омега-3).



ОСНОВНЫЕ НЕНАСЫЩЕННЫЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ

| Название кислоты | | Число атомов углерода и двойных связей | Тип кислоты | Формула | Т. пл., °С |
|-------------------|------------------------------|--|-------------|---------|------------|
| тривиальное | систематическое** | | | | |
| Пальмит-олеиновая | Гексадецен-9-оная | $C_{16:1}$ | омега-7 | | -0,5 |
| Олеиновая | Октадецен-9-оная | $C_{18:1}$ | омега-9 | | 14 |
| Элаидиновая* | транс-Октадецен-9-оная | $C_{18:1}$ | омега-9 | | 52 |
| Линолевая | Октадекадиен-9,12-оная | $C_{18:2}$ | омега-6 | | -5 |
| Линоленовая | Октадекатриен-9,12,15-оная | $C_{18:3}$ | омега-3 | | -11 |
| Арахидоновая | Эйкозатетраен-5,8,11,14-оная | $C_{20:4}$ | омега-6 | | -49,5 |

Цис-конфигурация

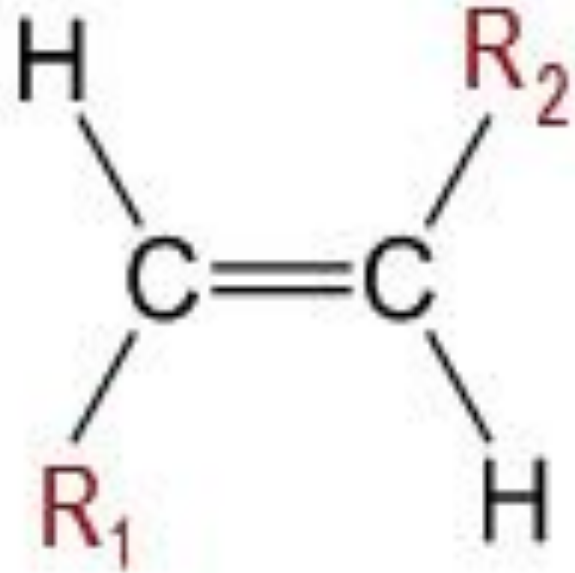
- В природных кислотах число атомов углерода колеблется от 4 до 22, но чаще встречаются кислоты с 16 или 18 атомами углерода. Ненасыщенные кислоты содержат одну или несколько двойных связей, имеющих цис-конфигурацию. Ближайшая к карбоксильной группе двойная связь обычно расположена между атомами C-9 и C-10. Если двойных связей несколько, то они отделены друг от друга метиленовой группой CH_2 .



Изомерия жирных кислот в составе жиров



Цис



Транс

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**.

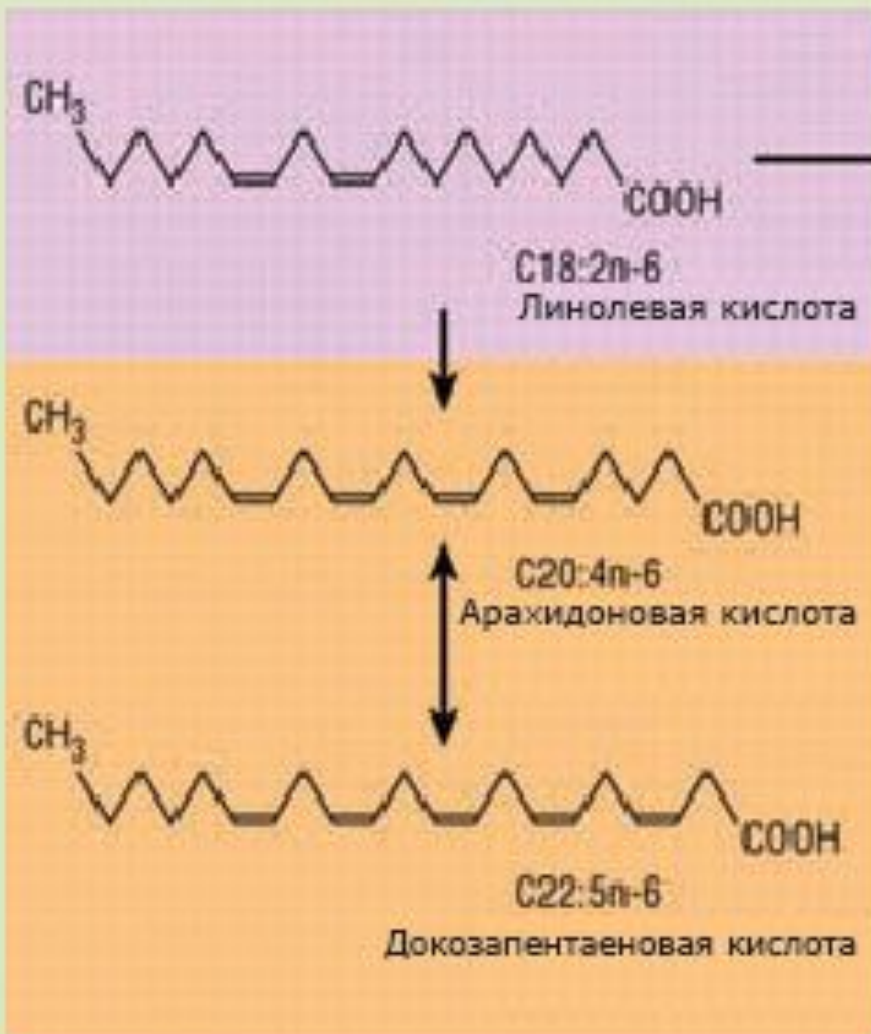
Линолевая кислота и ненасыщенные кислоты с иным числом атомов углерода, но с расположением двойных связей также у третьего атома углерода, считая от метильной группы, составляют **семейство омега-3** высших жирных кислот.

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

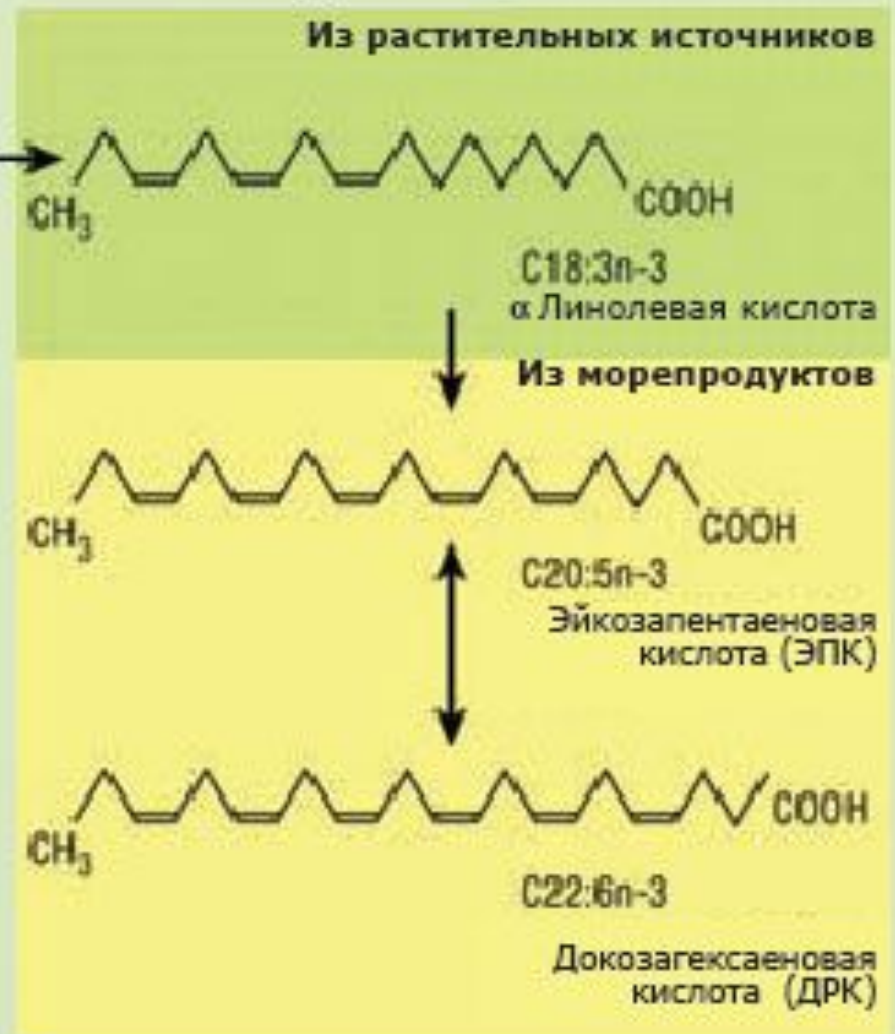
Витамин F - это комплекс *полиненасыщенных жирных кислот омега-3 и омега-6, которые объединяют в себе линолевую, линоленовую, арахидоновую, эйкозапентаеновую и докозагексаеновую кислоты.*

Полиненасыщенные ЖК (ПНЖК)

Омега-6 жирные кислоты



Омега-3 жирные кислоты



Полиненасыщенные жиры

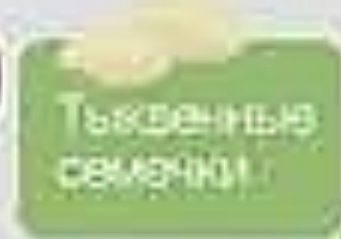


Оливковое, подсолнечное
и льняное масла

Омега-6



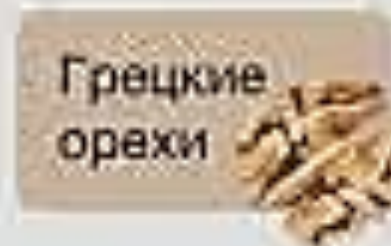
Рыба



Тыквенные
семена



Соевые бобы



Грецкие
орехи



Листовые
салаты

Омега-3

Значение омега-3 ПНЖК:

Омега-3 ПНЖК нашли широкое применение в различных областях современной медицины (акушерство, гинекология, кардиология, ревматология, онкология и т.д.).



**Незаменимые жирные кислоты Омега-3
регуляторы вашего здоровья**



Омега-3 ПНЖК

ОМЕГА-3

ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ

В ОРГАНИЗМЕ НЕ СИНТЕЗИРУЕТСЯ!

СУТОЧНАЯ ПОТРЕБНОСТЬ ~1-2.5 Г

ГДЕ ИХ ИСКАТЬ?

СОДЕРЖАНИЕ В 100 ГРАММАХ



УПОТРЕБЛЕНИЕ И ХРАНЕНИЕ



1. Содержание Омега-3 резко сокращается при тепловой обработке продуктов
2. Не допускается хранение масел, содержащих Омега-3, на открытом воздухе и в прозрачной таре
3. Хранить продукты, содержащие Омега-3 в холодном и темном месте

ОМЕГА-3 И БЕРЕМЕННОСТЬ

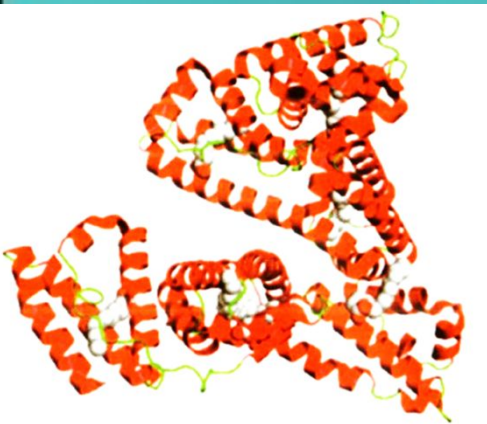
1. Участвует в формировании всех систем и органов плода
2. Особенно для развития и роста мозга
3. Особенно для структуры сетчатки глаза
4. Особенно для ЦНС ребенка
5. Женщина испытывает особенный дефицит на 2 и 3 триместре

Незаменимые жирные кислоты

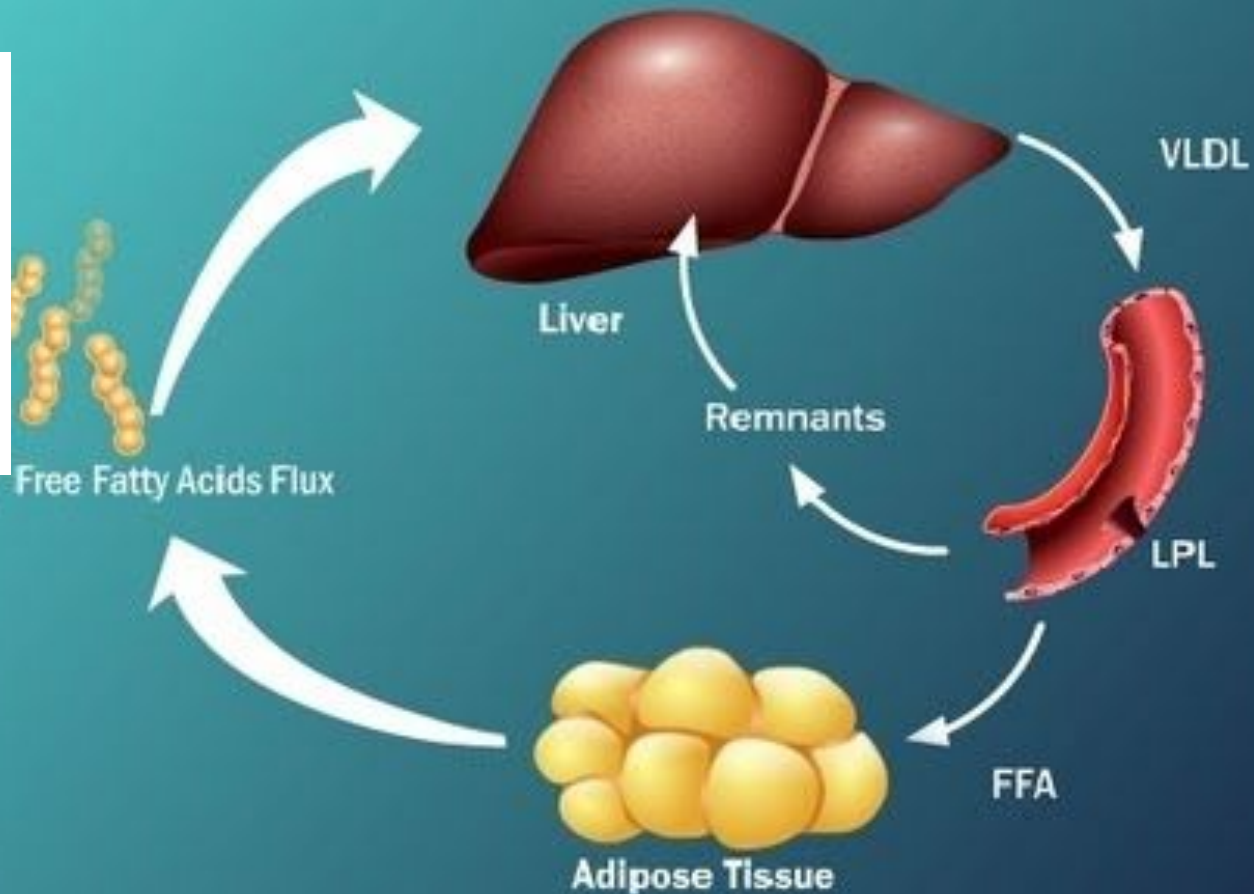
- Большинство жирных кислот синтезируется в организме человека, однако полиненасыщенные (линолевая и линоленовая «Витамин F») не синтезируются и должны поступать с пищей. Эти жирные кислоты называют *незаменимыми* или *эссенциальными*.
- В организме они не синтезируются и должны поступать с пищей в количестве 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.

Свободные жирные кислоты (СЖК, НЭЖК-неэ(с)терифицированные жирные кислоты)

В печени большая часть НЭЖК подвергается реэтерификации (связыванию) с образованием триглицеридов и фосфолипидов



Переносчик НЭЖК – белок альбумин



Местом депонирования жирных кислот является жировая ткань (адиipoциты) в составе ТАГ (этерифицированные жирные кислоты), а утилизация происходит в мышцах и печени

НЭЖК

Насыщенные

Мононенасыщенные

Омега 9

Полиненасыщенные

Омега 3

альфа-линоленовая кислота и
ее производные

эйкозапентаеновая кислота
(EPA)

декозагексаеновая кислота
(DHA)

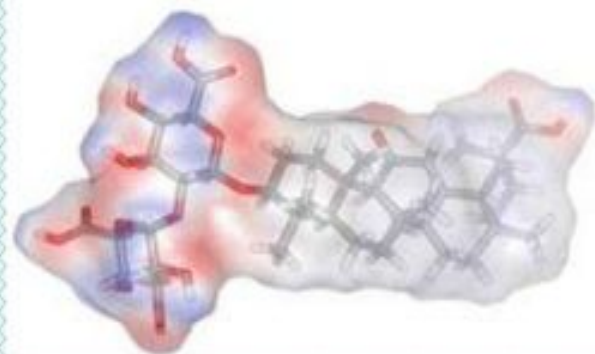
Омега 6

гамма-линоленовая
кислота

линолевая кислота

арахидоновая
кислота

Содержание НЭЖК



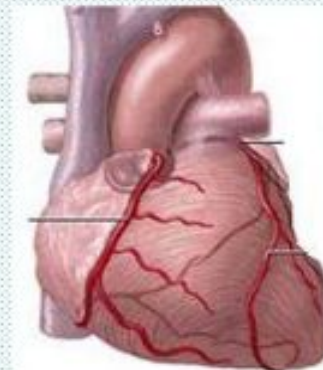
- у взрослого: 0,3-0,6 ммоль/л,
- у ребёнка до 2,2 ммоль/л.

Триацилглицерины – транспортная форма для насыщенных жирных кислот.

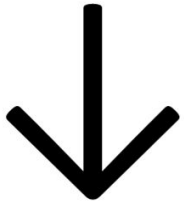
Фосфолипиды и холестерин - транспортная форма для полиненасыщенных жирных кислот.

Функции НЭЖК

- дают 50% энергии при голодании,
- энергетический материал для миокарда, мышц, почек, печени,
- насыщенные жирные кислоты выполняют энергетическую, а ненасыщенные — пластическую функции.



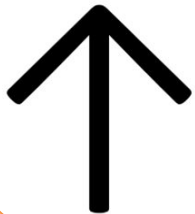
Патологическое значение НЭЖК (главным образом насыщенных ЖК)



-при муковисцидозе (заболевание, поражающее железистые органы и сопровождающееся образованием густого секрета, который закупоривает выводящие протоки)

N

-энергетическая и пластическая функции
-сигнальные молекулы - изменение их концентрации влияет на интенсивность утилизации глюкозы в мышцах



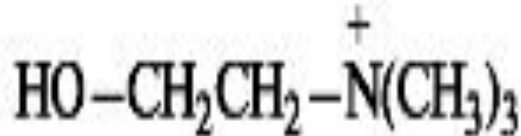
-при феохромоцитоме, ожирении, алкоголизме, сахарном диабете, гиперфункции щитовидной железы
-высокие концентрации СЖК на протяжении продолжительного времени оказывают токсический эффект (липотоксичность) на бета-клетки поджелудочной железы (фактор риска СД 2-го типа), кардиомиоциты, гепатоциты (их повреждение и хроническая дисфункция)
-фактор риска внезапной смерти

СПИРТЫ В СТРУКТУРЕ ПРИРОДНЫХ ЛИПИДОВ

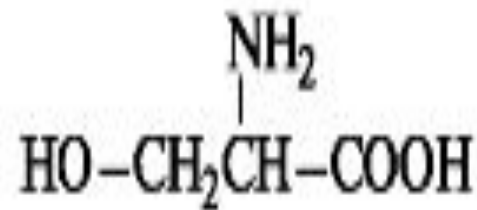
- В состав липидов могут входить:
- **высшие одноатомные спирты** (цетиловый $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{OH}$ и меллисиловый $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{29}\text{OH}$ спирты, входящие в состав восков);
- **многоатомные спирты** (трехатомный спирт **глицерин**, двухатомный спирт этиленгликоль,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



КОЛАМИН



ХОЛИН



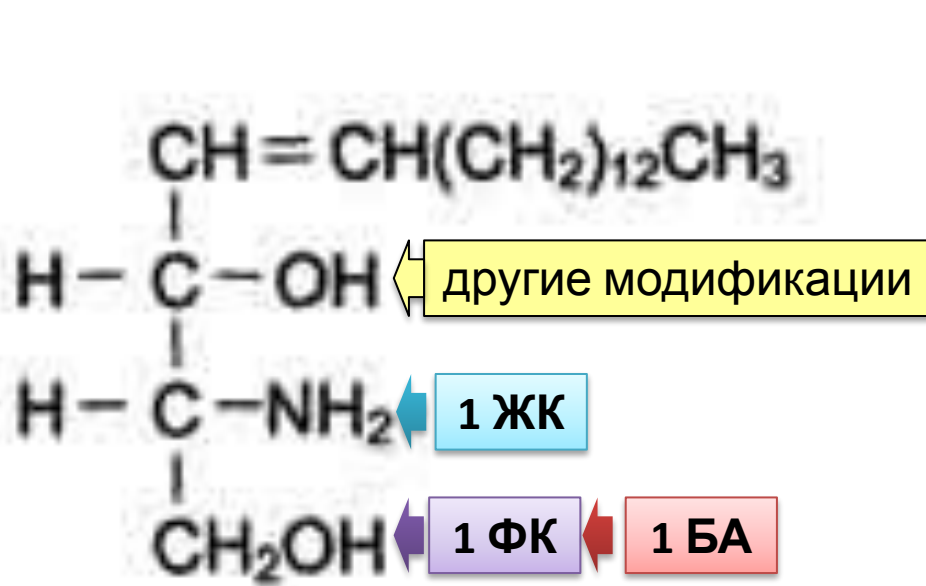
СЕРИН

СФИНГОЗИН

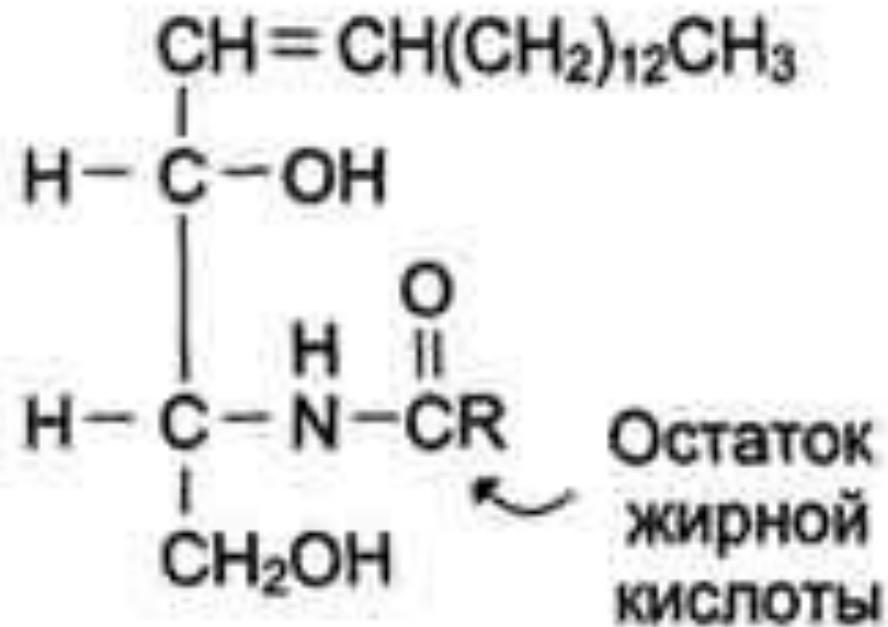
- **Сфингозин** - ненасыщенный длинноцепочечный двухатомный аминоспирт. Двойная связь в сфингозине имеет **транс-конфигурацию**, а асимметрические атомы С-2 и С-3 - D-конфигурацию.



СФИНГОЗИН И ЦЕРАМИД



Сфингозин



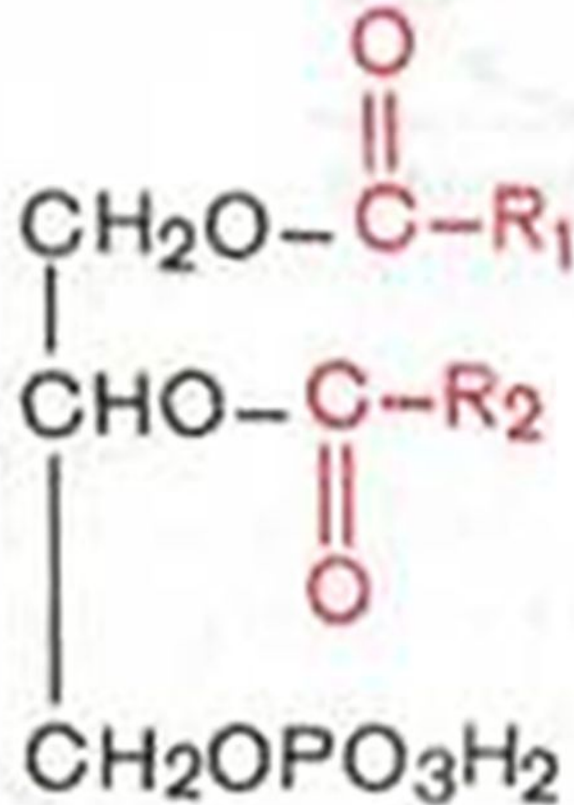
Церамид
N-ацилсфингозин

ГЛИЦЕРИН И ФОСФАТИДАТ

~~и~~ другие модификации



Глицерин



Дифосфатидная кислота
(фосфатидат)