

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

*КАФЕДРА БІОЛОГІЧНОЇ ХІМІЇ*



# Основні класи біомолекул

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК  
для студентів медичних факультетів  
спеціальність: 227 «Фізична терапія, ерготерапія»

Запоріжжя, 2019

УДК 577.112.8(075)

Б63

*Затверджено на засіданні Центральної методичної Ради ЗДМУ  
(протокол № \_ від \_\_\_\_\_ р.)  
та рекомендовано для використання в освітньому процесі.*

**Автори:**

К. В. Александрова – д. хім. н., професор

Є. Р. Федотов – к. б. н., доцент

В. О. Саліонов – к. фарм. н., старший викладач

О. С. Шкода – к. фарм. н., доцент

**Рецензенти:**

*О. В. Ганчева - д. мед. н., професор, завідувачка кафедри патологічної фізіології  
Запорізького державного медичного університету*

*С. І. Коваленко - д. фарм. н., професор, завідувач кафедри органічної та біоорганічної  
хімії Запорізького державного медичного університету*

Основні класи біомолекул. Навчально-методичний посібник для студентів III медичного факультету спеціальність:227 «Фізична терапія, ерготерапія» / К. В. Александрова, Є. Р. Федотов, В. О. Саліонов, О. С. Шкода. - Запоріжжя : ЗДМУ, 2019.- 79 с.

Навчально-методичний посібник складено відповідно до робочої програми вивчення навчальної дисципліни «Біологічна хімія», яка складена відповідно до Стандарту вищої освіти України галузі знань 22 «Охорона здоров'я» спеціальності 227 «Фізична терапія, ерготерапія» для студентів III медичного факультету.

©Запорізький державний медичний університет, 2019

## Зміст

Передмова.....	4
Введення в біохімію.....	5
Структура і функції білків.....	8
Класифікація і будова амінокислот.....	9
Білки і пептиди.....	11
Методи дослідження білків та амінокислот.....	11
Будова і рівні організації білків.....	16
Властивості білків.....	21
Класифікація білків.....	22
Складні білки.....	25
Природні пептиди.....	32
Структура і функції вуглеводів, ліпідів та нуклеїнових кислот.....	36
Класифікація вуглеводів.....	36
Ліпіди.....	43
Класифікація ліпідів.....	44
Прості ліпіди.....	46
Стерини та стериди.....	48
Воски.....	50
Складні ліпіди.....	51
Фосфогліцериди.....	51
Гліколіпіди і сульфоліпіди.....	53
Загальна характеристика будови нуклеїнових кислот.....	54
Будова полінуклеотидного ланцюга.....	58
Дезоксирибонуклеїнові кислоти (ДНК).....	59
Рибонуклеїнові кислоти (РНК).....	63
Біологічна роль ДНК і РНК.....	65
Завдання для самоперевірки.....	67
Тестові завдання.....	69
Рекомендована література.....	80

## Передмова

Студентами спеціальності 227 «Фізична терапія, ерготерапія» III медичного факультету вивчення дисципліни «Біологічна хімія» у ВНЗ починається на 2 курсі і даний курс не підкріплений знаннями загальної та біоорганічної хімії, що в свою чергу викликає певні труднощі при вивченні цієї дисципліни. Так, рівень шкільних знань з хімії та відсутність викладання на 1 курсі у студентів спеціальності 227 «Фізична терапія, ерготерапія» таких дисциплін як медична хімія та біоорганічна хімія не дає змоги студентам сприймати теоретичний матеріал з біологічної хімії. Тому, є необхідність видання методичної літератури, яка б допомогла засвоїти знання з дисципліни самостійно.

У зв'язку з вищенаведеним співробітниками кафедри біологічної хімії ЗДМУ розроблено навчально-методичний посібник «Основні класи біомолекул» для самостійної позааудиторної роботи як додатковий матеріал при вивченні предмету «Біологічна хімія».

В навчально-методичному посібнику розглядаються будова та властивості простих і складних білків, структура і функції вуглеводів, ліпідів та нуклеїнових кислот. Структурна організація навчально-методичного посібника дозволяє читачу легко знайти відповідь на питання, які стосуються білків, вуглеводів, ліпідів та нуклеїнових кислот.

Серед наведеного теоретичного матеріалу представлено достатню кількість таблиць, рисунків, схем, що дозволить студентам самостійно підготуватися до подальшого сприйняття навчального матеріалу з дисципліни «Біологічна хімія».

## Введення в біохімію

Біохімія – це наука, яка вивчає молекулярні процеси, що лежать в основі розвитку і функціонування організмів. Особливість біохімії відображена в її назві, котра вказує на хімічну сутність цієї науки і одночасно на вагомість для неї біологічних функцій, які ґрунтуються на хімічних процесах. Таким чином, біохімія використовує методи «молекулярних наук» – органічної хімії, фізичної хімії, молекулярної фізики – і в цьому відношенні сама є молекулярною наукою. Проте головні кінцеві завдання біохімії лежать у галузі біології: вона вивчає закономірності біологічної, а не хімічної форми руху матерії.

Біохімія людини – розділ біохімії, який вивчає:

1. хімічний (молекулярний) склад тканин і органів людини;
2. біохімічні реакції, що протікають в клітинах і міжклітинній речовині в процесі життєдіяльності (метаболізм) в нормі та патології (клінічна біохімія, патохімія) з метою метаболічних втручань і профілактики при ряді захворювань.

В живих клітинах виявлено понад 70 елементів періодичної системи Д. І. Менделєєва. За кількісним розподілом їх можна поділити на три групи.

Макроелементи (вміст понад 0,01%): Карбон, Гідроген, Оксиген, Нітроген, Фосфор, Сульфур, Натрій, Кальцій, Калій, Магній, Хлор, Ферум (табл. 1).

Мікроелементи (менше 0,01%): Цинк, Манган, Кобальт, Купрум, Флуор, Йод (табл. 1).

Ультрамікроелементи (менше 0,001 %): Бор, Літій, Алюміній, Силіцій, Станум, Кадмій, Селен, Ванадій, Титан, Хром, Нікель, Рубідій, Аурум тощо.

Макроелементи є компонентами органічних сполук, беруть участь в утворенні зв'язків між білковими молекулами, біоелектричних процесах. Найбільший вміст у клітині чотирьох елементів: Карбону, Оксигену, Гідрогену та Нітрогену. Це органогенні елементи. Разом їх вміст становить 95-98% загальної маси організму

Мікроелементи забезпечують перебіг ферментативних реакцій, входять до складу гормонів і вітамінів, беруть участь у процесах дихання. Наприклад Цинк входить до складу інсуліну, Кобальт – до складу вітаміну В<sub>12</sub>.

Біологічне значення багатьох ультрамікроелементів не встановлене.

Таблиця 1

**Елементний склад організму людини (у % до сухого залишку)**

Елемент	%	Елемент	%
C	50	S	0.8
O	20	Na	0.4
H	10	Cl	0.4
N	8.5	Mg	0.1
Ca	4	Fe	0.01
P	2.5	Mn	0.001
K	1	I	0.00005

Біомолекули – біоорганічні сполуки, які входять до складу клітинних і позаклітинних структур та вступають в процес обміну речовин.

Біополімери (грец. *Bios* — життя + *poly* — численний + *meros* — частина, тобто той, що складається з багатьох частин) — високомолекулярні (мол. м. 10<sup>3</sup>–10<sup>9</sup>) природні сполуки, які лежать в основі всіх живих організмів, виконують різноманітні біологічні функції, тим самим забезпечуючи нормальну життєдіяльність (табл. 2). До численної групи біополімерів відносять як прості біополімери: *полісахариди*, *нуклеїнові кислоти*, *білки (ферменти, деякі гормони та ін.)*, так і змішані біополімери: *лінополісахариди* (у структурі молекул, крім оліго- та полісахаридів, знаходяться *ліпіди*), *глікопротеїни* (сполуки, в яких пептидні ланцюжки ковалентно зв'язані з оліго- та полісахаридними ланцюжками), *лінопротеїни* (комплексні сполуки білків та ліпідів, які нековалентно зв'язані за рахунок гідрофобної, електростатичної взаємодії).

В цілому організм людини перебуває на 86–50% з води (86 % у новонародженого і 50 % у старого). Значення води в житті людини визначається тими функціями і тією величезною часткою, яку вона займає в загальній масі тіла людини і його органів.

Таблиця 2

**Основні складні органічні біомолекули, присутні в клітинах і тканинах**

<b>Біомолекули (біополімери)</b>	<b>Будівельні блоки (мономери)</b>	<b>Головні функції</b>
ДНК	Дезоксирибонуклеотиди	Генетичний матеріал
РНК	Рибонуклеотиди	Матриця для синтезу білків
Білки	Амінокислоти	Різноманітні
Полісахариди	Глюкоза	Короткочасне запасання енергії (в формі глюкози)
Ліпіди	Жирні кислоти	Компоненти мембран, запасують енергію на довгий час (в формі триацилгліцеролів)

**Роль води в організмі людини:**

1. Створення реакційного середовища в біохімічних реакціях;
2. Створення умов для основних транспортних систем завдяки можливості осмосу і дифузії полярних молекул;
3. Забезпечення транспорту різних класів біомолекул по біологічних рідинах і трансмембранно;
4. Забезпечення гуморальної регуляції і інформаційних взаємодій між молекулами;
5. Створення умов для здійснення екскреторної функції організму.

## Структура і функції білків

Білки, або протеїни (у перекладі з грецької *protos* – перший) – найважливіший клас біологічно активних речовин. Вони, як основа всього живого на Землі, здавна перебували в центрі уваги дослідників. Вивчення структури великої кількості індивідуальних білків у зв'язку з їхньою біологічною функцією продовжується і сьогодні.

В організмі людини в склад пептидів і білків входять тільки  $\alpha$ -L-амінокислоти (рис. 1)

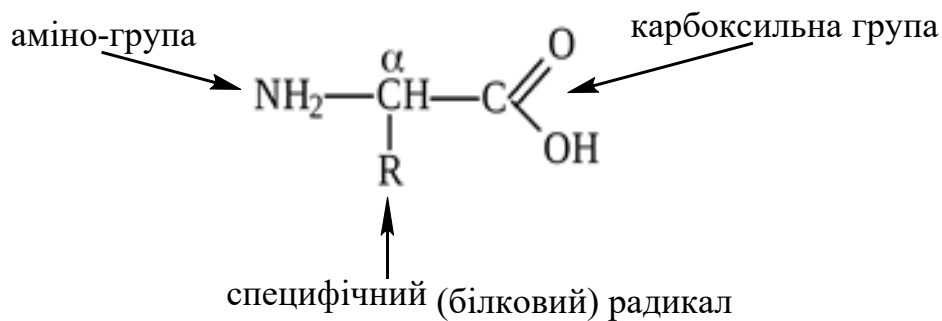
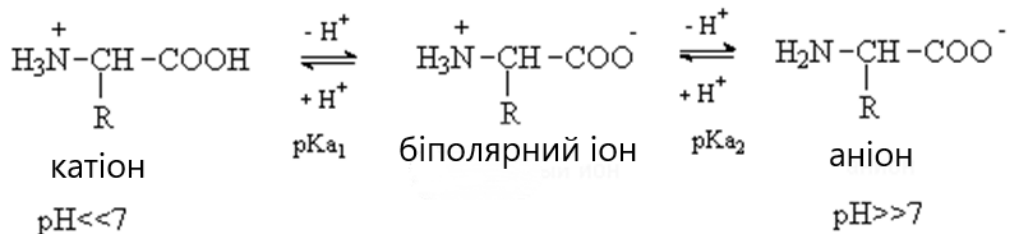


Рис. 1. Загальна структура  $\alpha$ -L-амінокислоти

У водному середовищі амінокислоти існують у формі:



Значення рН, при якому амінокислота знаходиться в формі біполярного іону і не переміщується в електричному полі постійного струму називається ізоелектричною точкою (pI).

Сумарний заряд молекул амінокислот (пептидів, білків) визначається у водному середовищі:

1. співвідношенням кислих і основних бічних радикалів;
2. ступенем дисоціації бічних радикалів;
3. рН середовища.



## Класифікація і будова амінокислот

Класифікація амінокислот по біологічній ролі:

1. Протеїногенні – 20  $\alpha$ -L-амінокислот, що входять до складу білків організму

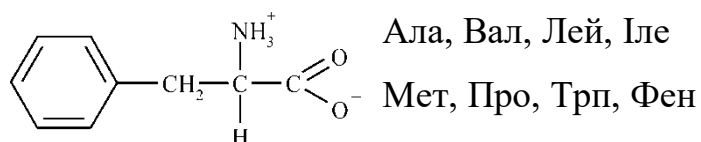
людини.

2. Непротеїногенні – не приймають участь у синтезі білків, знаходяться у вільному стані або в складі ряду біомолекул ( $\beta$ -аланін,  $\gamma$ -аміномасляна кислота).

Класифікація амінокислот по електрохімічним властивостям (в залежності від полярності і заряду бокового радикала):

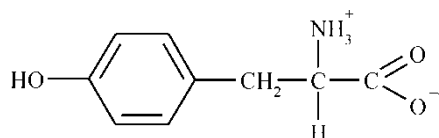
1. Амінокислоти з неполярними (гідрофобними) боковими радикалами:

Фенілаланін



2. Амінокислоти с полярними (гідрофільними) незарядженими боковими радикалами:

Тирозин

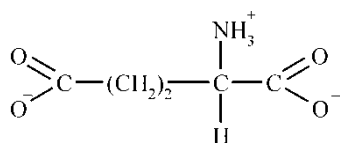


Глі, Сер, Тре, Цис

Тир, Асн, Глн

3. Амінокислоти з негативно зарядженими бічними радикалами (кислі амінокислоти):

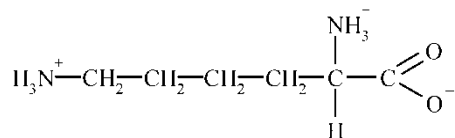
Глутамінова кислота



Асп, Глу

4. Амінокислоти з позитивно зарядженими бічними радикалами (основні амінокислоти):

Лізін



Ліз, Арг, Гіс

### Класифікація амінокислот по біологічним властивостям

1. Замінні амінокислоти (неесенціальні) – синтезуються в організмі людини в достатній кількості *de novo* із інтермедіатів (при гліколізі, в ході цитратного циклу) і аміногруп від інших амінокислот при трансамінуванні (Ала, Асп, Асн, Глу, Глн, Про, Глі, Сер).

2. Незамінні амінокислоти (есенціальні) – синтезуються в організмі тварин, рослин і грибів, але не можуть бути синтезовані в організмі людини і тому надходять з продуктами харчування (Тре, Мет, Вал, Лей, Іле, Ліз, Фен, Трп).

3. Напівнезамінні амінокислоти:

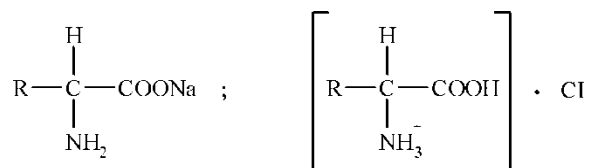
а) умовно замінні – можуть бути синтезовані із незамінних амінокислот при достатньому їх надходженні (Цис з Мет, Тир з Фен);

б) частково замінні – синтезуються в недостатній кількості у дорослої людини і зовсім не утворюються в дитячому організмі (Гіс, Арг).

**Кислотно-основні властивості амінокислот.** Амінокислоти – амфотерні сполуки, які містять дві протилежні за властивостями функціональні групи: карбоксильну й амінну.

За хімічними властивостями амінокислоти – амфотерні електроліти, тобто поєднують властивості і основ, і кислот. У залежності від рН середовища вони можуть мати кислотні або основні властивості.

Відповідно до своєї амфотерної природи амінокислоти можуть утворювати різні солі, реагуючи як з основами, так і з кислотами:



## Білки і пептиди

Білки і пептиди – високомолекулярні біоорганічні сполуки (гетерополімери), побудованні із залишків амінокислот, пов'язаних між собою пептидними зв'язками.

Пептиди мають до 50 залишків АК і мають  $M < 6000$  Да (Дальтон – позасистемна одиниця = 1 а.е.м.):

1. Олігопептиди – мають 2-20 амінокислотних залишків (ди-, тетра-, пента-, додецилпептид);
  2. Поліпептиди – мають 21-50 залишків АК.
- $M$  білків  $> 6000$  Да

### Методи дослідження білків та амінокислот

Дослідження однорідності білкових препаратів і виділення окремих білкових фракцій проводиться за допомогою різних методів, найбільш важливі з яких засновані на застосуванні ультрацентрифугування, електрофорезу, хроматографії, а також на вивченні розчинності білків.

1. *Методи розділення білків і амінокислот, засновані на відмінностях речовин в молекулярній масі:*

а) **Ультрацентрифугування.** У ультрацентрифузі спочатку осідають важчі молекули, потім менш важкі (рис. 2).

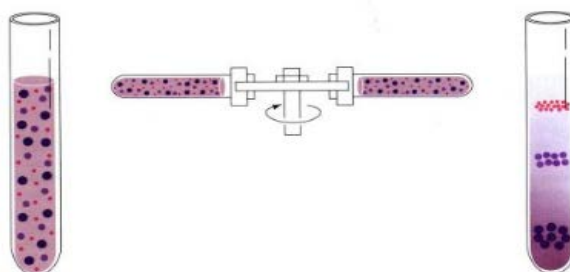


Рис. 2. Принцип розділення фракцій речовин при ультрацентрифугуванні

Принципово, ультрацентрифугування ділиться на препаративне та аналітичне. Задачею препаративного є розділення речовин та їх очистка.

Аналітичне застосовується для оцінки седиментаційних властивостей біологічних макромолекул та інших речовин: константа седиментації, молекулярна маса та константа дифузії. В аналітичному центрифугуванні застосовуються ротори та реєструючі системи особливої конструкції, що дозволяють безперервно спостерігати за седиментацією матеріалу в центробіжному полі (до 70 тис об/хв.; 500 тис g).

б) **Гель-фільтрація.** Метод гель-фільтрації (або гель-проникної хроматографії) дозволяє розділяти білки за величиною та формою молекул. Розділення проводять в хроматографічних колонках, заповнених сферичними частинками набряклого гелю (розміром 10-500 мкм) з полімерних матеріалів. Частинки гелю проникні завдяки внутрішнім каналам, що характеризуються певним середнім діаметром. Суміш білків вносять в колонку з гелем та елюють буферним розчином. Білкові молекули, не здатні проникати у гранули гелю, будуть переміщуватись з високою швидкістю. Середні та малі білки будуть, у тій чи іншій мірі, утримуватися гранулами гелю. На виході з колонки елюат збирають у вигляді окремих фракцій (рис. 3).

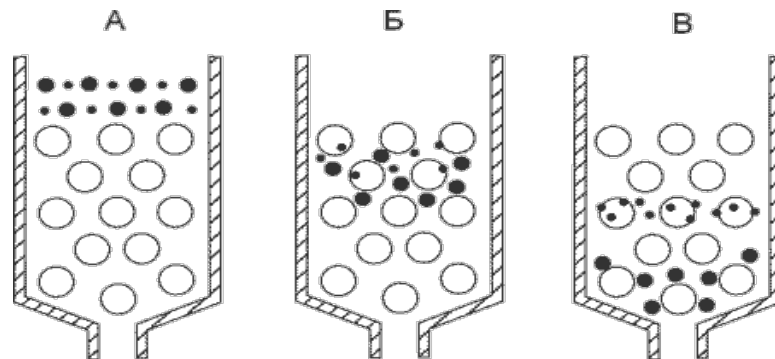


Рис. 3. Принцип розділення фракцій речовин за допомогою гель-фільтрації

Об'єм виходу того чи іншого білка визначається, переважно, його молекулярною масою.

2. *Методи розділення білків і амінокислот, засновані на відмінностях в їх кислотно-основних властивостях (або відмінності їх електричних зарядів):*

а) **Метод електрофорезу.** Принцип електрофорезу полягає в розподілі в розчині речовин в електричному полі на основі відмінностей їх електричних

зарядів (рис. 4). Електрофоретичне дослідження білка виробляють зазвичай при декількох значеннях рН, тому що встановлено, що якщо при одному рН препарат білка поводить як однорідна речовина, то при іншому рН цей же препарат може бути неоднорідним.

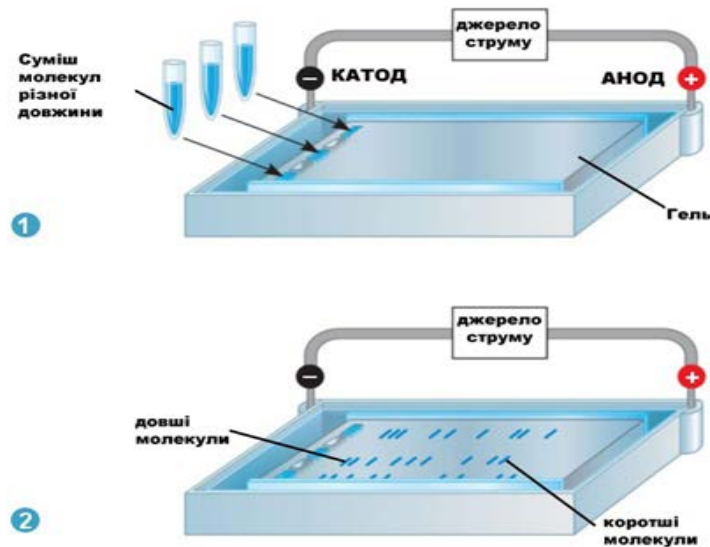


Рис. 4. Принцип розділення фракцій речовин за допомогою електрофорезу

За останні роки широке поширення отримав електрофорез розчинів білків і пептидів на різних носіях - фільтрувальному папері, целюлозному або крохмальному порошку, поліакриламідному гелі. Ці методи дозволяють аналізувати надзвичайно малі кількості білків.

б) **диск-гелевий електрофорез**, при якому суміш білків піддається одночасному впливу електричного поля і градієнту рН (рис. 5). Він має особливу високу роздільну здатність.

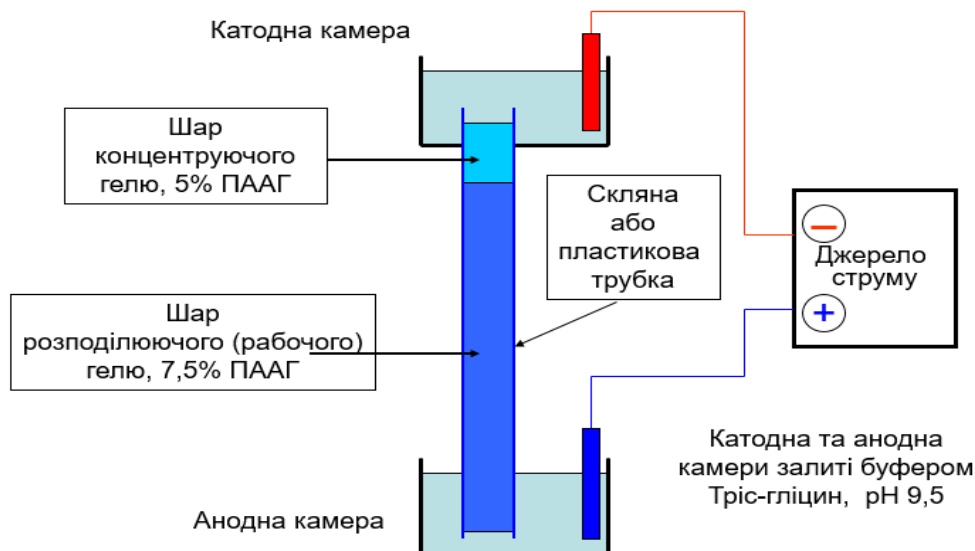


Рис. 5. Принцип розділення фракцій речовин за допомогою диск-гелевого електрофорезу

Фільтрування через гель, так само як і гелевий електрофорез, широко застосовується для швидкого приблизного визначення молекулярної маси білків.

в) **Іонообмінна хроматографія.** У іонообмінній хроматографії в якості носія використовуються полімери, що несуть на собі заряд – іонообмінні смоли (рис. 6):

- Катіонообмінні смоли (заряджені негативно) – обмінюються катіонами;
- Аніонообмінні смоли (заряджені позитивно) – обмінюються аніонами.

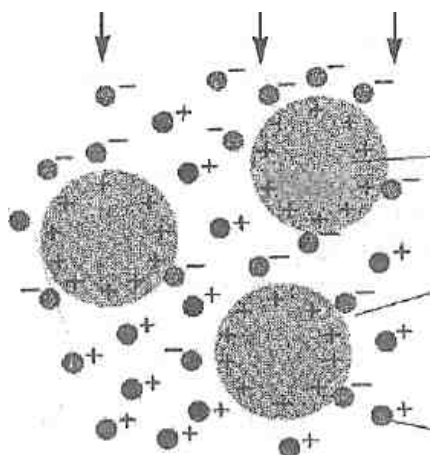


Рис. 6. Схематичне зображення розділення речовин методом іонообмінної хроматографії

Наприклад, часто використовується катіонообмінна полістероїдна сульфонована смола. Якщо розчин амінокислот має кисле середовище, при завантаженні колонки позитивно заряджені амінокислоти і білки витісняють натрій і з'єднуються з сульфід-аніоном. При додаванні гідроксиду натрію рН збільшується; коли рН досягне значення, рівного ізоелектричній крапці молекули білка, амінокислоти втрачають заряд і стають нейтральними. Під дією сили тяжіння амінокислота виходить з колонки, втративши заряд. Різні білки (амінокислоти) мають різні значення ізоелектричних крапок.

*3. Методи розподілу, засновані на відмінностях речовин по розчинності:*

а) **Метод фракціонування білків сольовими розчинами.** Заснований на тому, що кожен індивідуальний білок суміші, осідає з неї при певній концентрації тієї чи іншої солі, в той час як інші білки при даній концентрації солі залишаються в розчині. Процес осадження білка з розчину під дією солі називається висолюванням. При подальшому насиченні сіллю випадає наступний індивідуальний білок і, таким чином, можна один за іншим виділити відносно чисті індивідуальні білки.

б) **Розподільна хроматографія на папері.** Цей метод заснований на розподілу компонентів суміші між двома рідкими фазами (рухомою і нерухомою) і полягає в тому, що краплю гідролізату білка наносять на смужку хроматографічного паперу, один кінець якої опускають в органічний розчинник. Розчинник під дією капілярних сил всмоктується папером і, проходячи по смужці паперу, захоплює за собою амінокислоти (рис. 7).

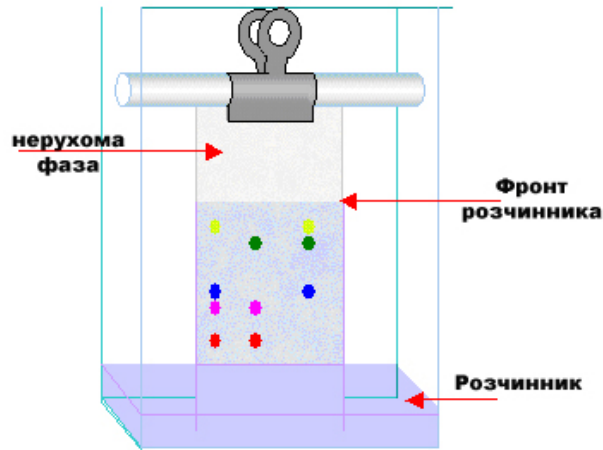


Рис. 7. Схематичне зображення розділення речовин за допомогою розподільної хроматографії на папері

Швидкість переміщення амінокислот по папері залежить від їх хімічної будови і здатності розчинятися в рухомому і нерухомому розчинниках. В якості рухомого розчинника використовують фенол, n-бутиловий спирт та ін. Нерухомим розчинником є вода, пари якої насичують папір. Чим менше розчинність амінокислот у воді і чим більше їх розчинність, наприклад, в фенолі, тим швидше вони рухаються слідом за фронтом органічного розчинника.

### Будова і рівні організації білків

За рівнем структурної організації білка виділяють:

1. Первинну структуру (поліпептидний ланцюг, що складається із залишків АК, з'єднаних амідним зв'язком).
2. Вторинну структуру (конформації впорядковані в просторі за рахунок утворення водневих зв'язків між окремими ділянками поліпептидних ланцюгів,  $\alpha$ -спіраль,  $\beta$ -складчастий шар).
3. Третинну структуру (розташування в просторі поліпептидного ланцюга з певною структурою за рахунок водневих, дисульфідних, іонних зв'язків, дипольних і гідрофобних взаємодій).
4. Четвертинну структуру (агрегація декількох поліпептидних ланцюгів - протомерів з певною конформацією, тобто третинною структурою).



**Первинна структура** білка являє собою лінійний ланцюг залишків  $\alpha$ -амінокислот, які розташовані у певній послідовності в поліпептидному ланцюзі і з'єднані між собою пептидними зв'язками (рис. 8).

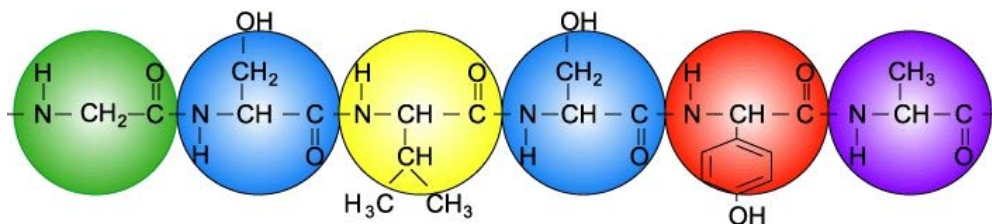


Рис. 8. Схема первинної структури білка

Таким чином, під первинною структурою білка розуміють кількість, склад і порядок розташування амінокислотних залишків у поліпептидному ланцюзі. Кожен білок має специфічну структуру, котра визначається генетичною інформацією. Основу первинної структури складають ковалентні пептидні зв'язки. Кількість різновидів білкових молекул у природі величезна, їхня різноманітність пов'язана з різним набором амінокислот, що входять до складу білка, і порядком їх чергування в поліпептидному ланцюзі.

**Вторинна структура** представлена такими регулярними структурами, як  $\alpha$ -спіраль,  $\beta$ -структура (складчастий шар або лист) та  $\beta$ -вигин. Певна частина поліпептидного ланцюга не має впорядкованої структури, такі ділянки називають аморфними, або безструктурними зонами.

Вторинна структура являє собою впорядковану просторову конформацію поліпептидного ланцюга. Вона утворюється за рахунок водневих зв'язків між пептидними групами в одному поліпептидному ланцюзі або між сусідніми поліпептидними ланцюгами. При цьому конформація може набувати вигляду спіральних і шарувато складчастих структур (рис. 9).

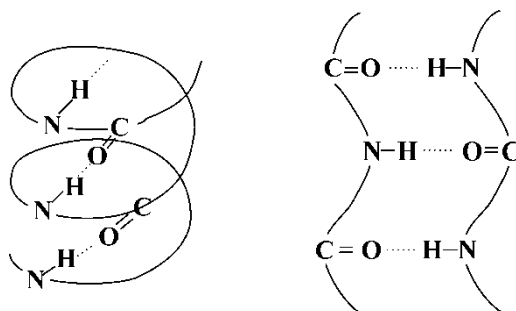
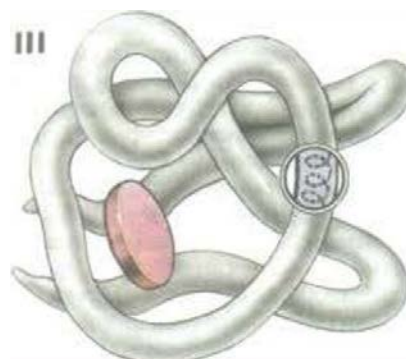


Рис. 9. Вигляд  $\alpha$ -спіралі і  $\beta$ -структури

**Третинна структура** білків являє собою спосіб укладання поліпептидного ланцюга з елементами вторинної структури ( $\alpha$ -спіралі і  $\beta$ -структури) у просторі, який досягається за рахунок взаємодії між радикалами залишків амінокислот. Для багатьох білків третинна структура еквівалентна повній просторовій структурі. Упакування третинної структури має свої закономірності, залежно від типу первинної структури поліпептидного ланцюга, від стану навколишнього середовища (водно-сольовий склад, рН, температура, взаємодія білка з іншими речовинами тощо). Третинна структура білка визначає форму білкової молекули, утворюючи або глобулу (глобулярні білки) або достатньо витягнуті волокна (фібрилярні білки). У глобулярних білків поліпептидний ланцюг вигинається в просторі, робить повороти в різних напрямках, складається в компактну, унікальну тривимірну конформацію, притаманну певному білку зі специфічною функцією.

У молекулі білка з третинною структурою зустрічаються спіралізовані ділянки ( $\alpha$ -спіралі), шаруваті ( $\beta$ -структури) та ділянки у формі безладного клубка, тобто такі, що не мають будь-якої періодичної структури. Тільки правильне просторове укладання білка робить його активним: порушення його структури призводить до зміни властивостей білка і втрати біологічної активності.

У стабілізації третинної структури глобулярних білків беруть участь так звані «вторинні зв'язки», в основному слабкі (електростатичні, водневі, гідрофобні взаємодії) і в незначній кількості – ковалентні: дисульфідні, ізопептидні, ефірні (рис. 10).



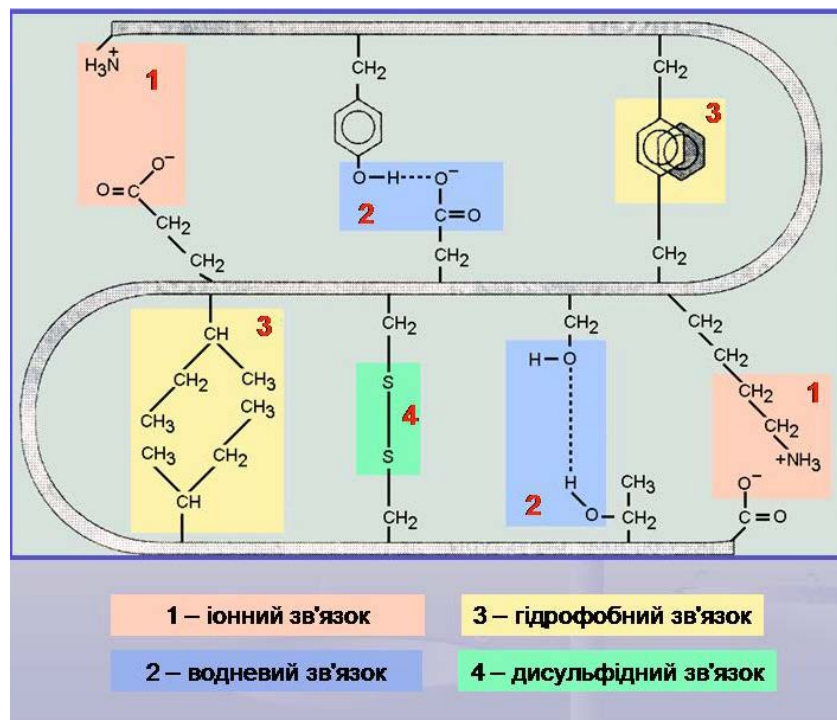


Рис. 10. Третинна структура білка

Структурна організація фібрилярних білків має ряд особливостей у порівнянні з глобулярними білками. Якщо для глобулярного білка його третинна структура утворюється шляхом укладання в просторі одного поліпептидного ланцюга, а четвертинна – декількох ланцюгів, то у фібрилярних білків вже при формуванні вторинної структури беруть участь декілька поліпептидних ланцюгів. Молекули фібрилярних білків побудовані найчастіше з декількох поліпептидних ниток, які мають структуру  $\alpha$ -спіралі ( $\alpha$ -кератин, міозин),  $\beta$ -складчастих шарів ( $\beta$ -кератин, фіброїн шовку) або скручених у особливий вид спіралі – колагени. Утворення поліпептидними ланцюгами довгих витягнутих за формою молекул і буде в цілому характеризувати третинну структуру фібрилярних білків.

**Білки, які мають четвертинну структуру, називають *олігомерними*.** Кожний окремий поліпептидний ланцюг у складі олігомерного білка зветься *протомером*, або *субодиницею*. Деякі автори терміном «субодиниця» називають лише ту частину молекули, якій властива функціональна активність. Вона може бути представлена як одним протомером, так і декількома. Олігомерні білки найчастіше побудовані з парного числа протомерів – від 2 до

4 (димери, тетрамери), рідше від 6 до 8, 10, 12 і більше з молекулярною масою в межах від декількох тисяч до 100000 дальтон. Олігомерні білки являють собою неподільне ціле і виконують біологічні функції, невласиві окремо взятим субодинацям. У разі дії на білки з четвертинною структурною організацією різних фізичних або хімічних факторів (сечовина, концентровані розчини нейтральних солей, органічні розчинники, детергенти, зміна рН середовища тощо) спостерігається дисоціація їх на окремі субодинаці. При цьому розриваються зв'язки, що стабілізують четвертинну структуру. Дисоціація часто буває оборотною: після вилучення відповідного агента субодинаці сполучаються між собою і четвертинна структура відновлюється. У цьому процесі важливим є те, що при відновленні структури олігомерного білка відновлюється і його біологічна активність.

Четвертинна структура стабілізується і підтримується в нативному стані, в основному за рахунок слабких нековалентних зв'язків (іонних і водневих) і гідрофобних взаємодій, котрі виникають між різними функціональними групами, розташованими на поверхні субодинаць. При цьому субодинаці взаємодіють між собою не будь-якою частиною своєї поверхні, а певною ділянкою – контактною поверхнею або площадкою (рис. 11).

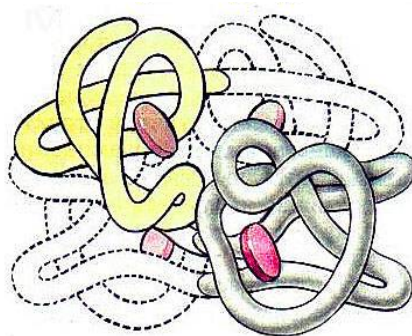


Рис. 11. Четвертинна структура білка

У відповідь на екстремальні зовнішні впливи *in vitro* (наприклад, підвищення температури) глобулярний білок може втратити свою впорядковану структуру, стати *денатурованим*. Дослідження цього процесу є дуже важливим для з'ясування механізмів стабілізації структури білка.

## Властивості білків

**Амфотерні властивості білків.** Білки є амфотерними електролітами, оскільки у складі їх молекули містяться як кислотні, так і лужні групи. Кислотно-основні властивості визначаються, головним чином, бічними радикалами амінокислот, здатними до іонізації. До іонізованих груп належать  $\text{COO}^-$ -групи бокових радикалів аспарагінової і глутамінової кислот,  $\text{NH}_3^+$ -групи залишків лізину й аргініну. Іонізація решти груп у молекулах білка істотного значення не має, оскільки  $\alpha\text{-NH}_2$ - і  $\alpha\text{-COOH}$ -групи утворюють пептидні зв'язки, а кількість N- і С-кінцевих груп є незначною у зв'язку з великими розмірами молекул білка. Ступінь іонізації функціональних груп залежить від значення рН.

**Розчинність білка.** Більшість білків – гідрофільні речовини, які добре розчиняються у воді. Переважна частина поверхні білкової молекули утворена групами, здатними до гідратації. Гідратація – це зв'язування диполів води з іонними й неіонними полярними групами білків. У дисоційованому стані іонні групи притягають молекули води за рахунок іон-дипольних взаємодій. Неіонні полярні бокові радикали амінокислот (серин, треонін, аспарагін, глутамін) утворюють із водою водневі зв'язки. Розчинність різних білків у воді і в різних розчинниках неоднакова і залежить від природи білка й розчинника, значення рН, температури, іонної сили тощо. Наприклад, альбуміни розчиняються у воді, а глобуліни – тільки в присутності електролітів, білки опорних тканин (кератини, колаген, еластин та ін.) не розчиняються у воді й сольових розчинах, у воді вони лише набрякають. Розчинність білків у воді зростає за невеликих концентрацій нейтральних солей ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  та ін.). Цей ефект називають сольовим розчиненням. Нейтральні солі в малих концентраціях збільшують ступінь дисоціації іонізованих груп білка, екранують заряджені групи білкових молекул і цим зменшують білок-білкові взаємодії. Високі концентрації нейтральних солей, навпаки, осаджують (висолюють) білки з водних розчинів.

**Колоїдні властивості білків.** Білки, маючи велику молекулярну масу, при розчиненні у воді утворюють колоїдні розчини із частинками розміром від 0,001 до 0,1 мкм. У розчинах вони виявляють колоїдні властивості: повільно дифундують, не проходять через напівпроникну мембрану, розсіюють світло,

мають високу в'язкість. Проте білкові розчини не відносять до типових колоїдних розчинів, оскільки білки, диспергуючись до одиничних молекул, утворюють гомогенний розчин. Зрештою, їх можна вважати істинними розчинами.

**Осмотичні властивості білків.** Через високу молекулярну масу білки не здатні проникати крізь біологічні і штучні мембрани (наприклад, целофан, пергамент, висушені плівки колодію і т. ін.), що є зручним для очистки розчинів білка від низькомолекулярних органічних і неорганічних домішок. Такий процес називають діалізом. *Діаліз* – це особливий різновид розподілу речовин з використанням мембран, нездатних пропускати через свої пори високомолекулярні молекули. Діаліз використовують у біохімічних дослідженнях для очистки високомолекулярних сполук (білків, нуклеїнових кислот, полісахаридів і т. ін.) від низькомолекулярних і у фармації для одержання лікарських препаратів, у тому числі і білкових. Метод діалізу використовується в практичній медицині для очистки крові від природних низькомолекулярних «шлаків» і токсичних сполук при захворюванні нирок і деяких отруєннях (апарат «штучна нирка»).

Нездатність білків дифундувати через напівпроникні мембрани спричиняє явище осмосу, тобто переміщення молекул води через мембрану в розчин білка. Якщо розчин білка відокремити від води целофановою мембраною, то, прагнучи досягти рівноваги, молекули води проникають у розчин білка. Це підвищує гідростатичний тиск (тиск стовпа води), який перешкоджає подальшій дифузії молекул води. Той тиск, або сила, яку треба прикласти, щоб зупинити осмотичний потік води, називається *осмотичним тиском*. Біологічні мембрани також непроникні для білка, тому осмотичний тиск, утворений білком, залежить від концентрації його усередині і поза клітиною. Осмотичний тиск, зумовлений білком, називають також *онкотичним тиском*.

### **Класифікація білків**

Незважаючи на те, що хімічний склад і структура білків уже значною мірою вивчені, і прогрес у цій сфері продовжується, на даний час ще не

створено ні чіткої номенклатури, ні дійсно наукової класифікації білків. Білки часто класифікують за випадковими ознаками: джерелами виділення білка, формою молекули, розчинністю у певних розчинниках, локалізацією у певних органах і тканинах, амінокислотним складом тощо. Із загальної кількості білків виділяють ті чи інші вузькі або широкі групи. Так, характеризуючи білкові речовини за ступенем складності, серед них виділяють дві великі групи: **прості** і **складні білки**. До простих білків, або протеїнів, відносяться білки, котрі дають при гідролізі лише амінокислоти. Складні білки складаються із простого білка і додаткової групи небілкової природи. Складні білки поділяються на групи в залежності від будови небілкової частини – простетичної групи. За формою молекул білки ділять на **глобулярні** і **фібрилярні**. Існує також класифікація білків за їх розчинністю.

В останні роки зроблено спроби дати науково обґрунтовану класифікацію з урахуванням досягнень хімії та біохімії білків. Згідно з однією з них білки класифікуються за **функціями**, які вони виконують. За цією ознакою виділяють такі групи білків: каталітичні, білки-регулятори активності геному, захисні, токсичні, транспортні, скорочувальні, рецепторні, білки-інгібітори ферментів, білки вірусних оболонок, білки з іншими функціями. Хоча функціональна класифікація також має деякі недоліки, наприклад, при класифікації біфункціональних білків, проте вона дає можливість глибшого розуміння взаємозв'язку структури і функції молекул білка.

Прості білки розділяють на такі класи: **альбуміни, глобуліни, протаміни, гістони, проламіни, глютеліни, протеїноїди**.

**Альбуміни**. Це водорозчинні білки, які осаджуються при насиченні розчинів нейтральними солями, наприклад  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Альбуміни широко розповсюджені в природі. Вони складають біля 50% усіх білків плазми людини. Молекулярна маса альбумінів 35000–70000. Молекули їх мають еліпсоїдну форму, яка є компактнішою і симетричнішою, ніж у глобулінів (рис. 12).

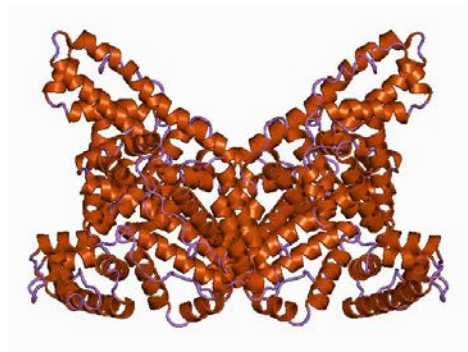


Рис. 12. Структура альбумінів

Основні функції альбумінів – регуляція осмотичних процесів і транспорт. При зменшенні вмісту альбумінів порушується транспорт ліпідів. Вони регулюють також вміст у плазмі крові іонів  $\text{Ca}^{2+}$ , стероїдних гормонів, деяких лікарських препаратів (дикумарину, пеніциліну, аспірину), утворюючи з ними комплекси.

**Глобуліни.** Глобуліни, як і альбуміни, дуже поширені у складі тваринних і рослинних тканин. На відміну від альбумінів, глобуліни не розчиняються в концентрованих розчинах нейтральних солей. Із тканин їх виділяють за допомогою екстрагування 10% розчином солей. При підвищенні концентрації солей розчинність глобулінів зменшується, а в 50% розчині вони випадають в осад. Молекулярна маса глобулінів – 0,9-1,5 млн. Вони більш грубодисперсні і менш гідрофільні, ніж альбуміни (рис. 13).

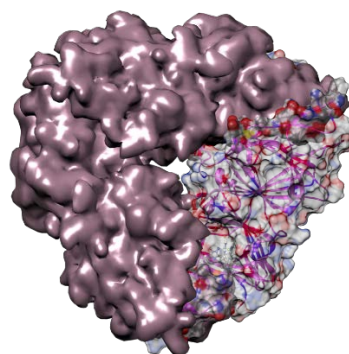


Рис. 13. Структура глобулінів

**Гістони.** Це лужні білки з молекулярною масою 12000–30000, які містять 20–30% лужних амінокислот (рис. 14). Вони розчиняються у слабких кислотах, осаджуються спиртом, не містять триптофану і, у більшості випадків,



цистеїну і цистину. Основна маса гістонів входить до складу хромосом ядер клітин і відіграють важливу роль у стабілізації ДНК. Певну роль вони виконують у процесах біосинтезу білків, оскільки є компонентами дезоксирибонуклеопроतेїнів ядра.



Рис. 14. Структура гістонів

**Протаміни.** Це сильно лужні білки з низькою молекулярною масою (до 12000), завдяки чому деякі з них проходять через целофан при діалізі. Протаміни розчиняються в слабких кислотах, не осаджуються при кип'ятінні; у їх молекулі вміст діаміномонокарбонічних кислот становить близько 80%, особливо багато аргініну. Протаміни надають ДНК біологічної інертності, що є необхідною умовою збереження спадкових властивостей організму. Протаміни широко розповсюджені в природі. Вони містяться в статевих клітинах тварин і людини і складають основну масу білків хроматину.

### Складні білки

Важливими компонентами живих організмів, які містяться в них у значній кількості, є складні білки. Окрім амінокислот, до їх складу входить ще небілковий компонент.

Молекула складного білка визначається терміном – «холопротеїн». Холопротеїн складається з апопротеїну (поліпептиду) та небілкового компоненту – простетичної групи (від гр. *prostheto* – приєдную, додаю):

**холопротеїн=апопротеїн +простетична група**

Небілковий компонент (простетична група) може по-різному сполучатися з білковим компонентом. В одних випадках він міцно приєднується до поліпептидного ланцюга за допомогою ковалентних зв'язків (гемоглобін, родопсин, флавопротеїни та ін.), в інших – небілковий компонент з'єднується з білком за допомогою сил слабких взаємодій, як, наприклад, в нуклеопро­теїнах та ліпопротеїнах крові. Такі представники складних білків мають властивість легко дисоціювати в розчинах на складові компоненти.

В якості простетичної групи до складних білків можуть входити біомолекули, що належать до різних класів органічних сполук (вуглеводи, ліпіди та ін.). Іноді небілкові компоненти складних білків представлені неорганічними молекулами (залишками ортофосфатної кислоти) і, навіть, атомами металів (Феруму, Купруму, Молібдену тощо).

До **хромопротеїнів** (від гр.*chroma* – барва) належать гетерогенні білки, забарвлення яких залежить від природи простетичної групи. Так, наприклад, гемопротеїни забарвлені в червоний колір, родопсини – в помаранчевий, флавопротеїни – в жовтий, церулоплазмін – в блакитний тощо.

Хромопротеїни надзвичайно поширені у тваринному (залізопорфіриновмісні білки) і рослинному (магнійпорфіриновмісні білки) світі. Білки, що містять залізопорфіринові комплекси, створюють підгрупу хромопротеїнів, яка має назву гемопротеїни.

*Гемопротеїни* – група білків, до структури яких в якості простетичної групи входить гем. Їх представниками є гемоглобін, міоглобін, цитохроми, каталаза та пероксидази.

*Гемоглобін* входить до складу еритроцитів і заповнює більшу частину їх внутрішньоклітинного простору (рис. 15). Його основна функція пов'язана з транспортом газів (кисню та вуглекислого газу) в організмі. Крім цього, він бере участь у підтримці кислотно-лужного балансу в організмі людини і тварин, створюючи найпотужнішу гемоглобінову буферну систему крові.

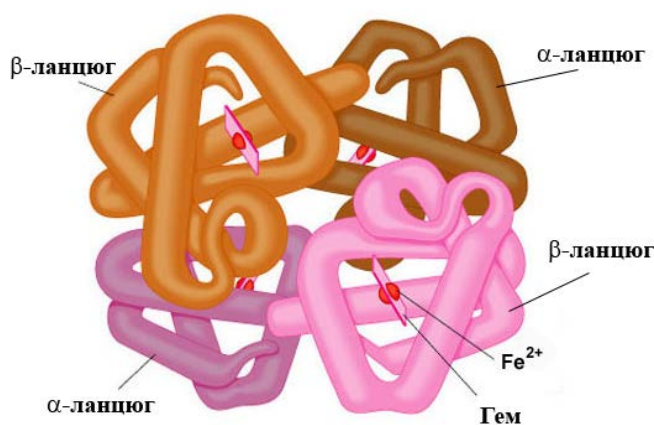


Рис. 15. Схема будови гемоглобіну

До **глікопротеїнів** належать складні білки, що містять у своїй структурі міцно пов'язані залишки вуглеводів (рис. 16). Усі глікопротеїни поділяються на дві групи:

- *власне глікопротеїни* (містять до 4 % вуглеводних компонентів);
- *протеоглікани* (колишня назва мукопротеїни – містять до 90 - 95 % і більше вуглеводних компонентів).

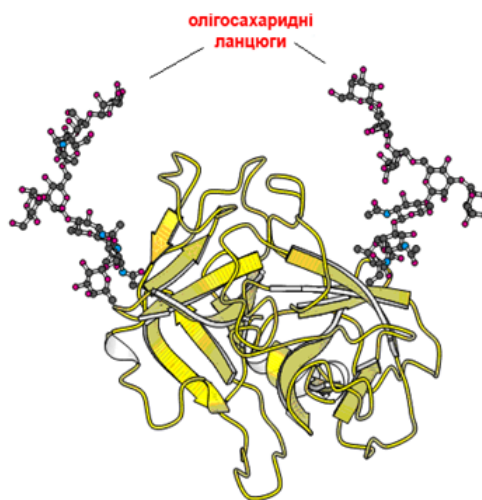


Рис. 16. Загальна схема будови глікопротеїнів

Глікопротеїни являють собою одну з найбільш поширених в живих організмах груп складних білків. До них належать деякі гормони, велика кількість мембранозв'язаних білків, а також розчинні внутрішньоклітинні білки, що знаходяться в цитоплазмі, матриксі мітохондрій, нуклеоплазмі та ін. Окремі фактори транскрипції, фактори росту (*еритропоетин*) та гормони

(*тиреотропний, фолікулостимулюючий, лютеїнізуючий*) виявляють функціональні властивості тільки у формі глікопротеїнів. Більшість білків крові також являють собою глікопротеїни і серед них *імуноглобуліни*, окремі *фактори згортання крові* тощо.

Глікопротеїни шлунково-кишкового тракту (*муцини*) є основою різних слизів і виконують захисну функцію, послабляючи механічне та хімічне подразнення клітин травного тракту різними факторами, що потрапляють із поживними речовинами. До біологічно активних глікопротеїнів відносяться *інтерферони*, які синтезуються в клітинах у відповідь на збудження екзогенним стимулятором; вони наділені противірусними й протипухлинними властивостями та мають клітинно- й імунорегуляторну дію.

Вуглеводний компонент глікопротеїнів може бути представлений окремими моносахаридними або олігосахаридними залишками, які мають лінійну або розгалужену структуру; при цьому, у молекулі глікопротеїну часто міститься не один, а відразу кілька олігосахаридних залишків (рис. 16).

**До ліпопротеїнів** належать складні білки, у яких в якості небілкового компоненту виступають різноманітні ліпіди (вищі жирні кислоти, фосфоліпіди, похідні ізопрену тощо, рис. 17). Найбільше значення в біохімії мають ліпопротеїни, в складі яких ліпіди знаходяться в плазмі крові людини, та ліпопротеїни, що є інтегральними компонентами біологічних мембран.

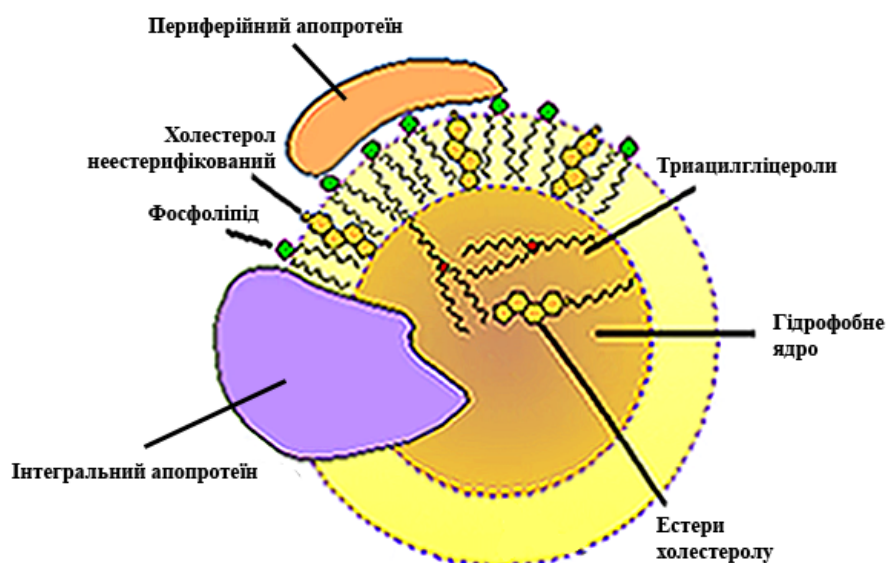


Рис. 17. Загальна схема будови ліпопротеїнів

Наявність у молекулі складного білка гідрофобного (ліпідного) компонента забезпечує можливість його вбудовування в ліпідний бішар клітинних мембран. До складу ліпопротеїнів мембран часто входять залишки пальмітинової або міристинової кислот.

До **фосфопротеїнів** належать складні білки, що в якості небілкового компонента мають залишки ортофосфатної кислоти. Вони приєднуються за допомогою складноефірного зв'язку до гідроксильних груп  $\beta$ -оксиамінокислот: серину й треоніну, що входять до складу поліпептидного ланцюга. Рівень фосфопротеїнів у клітині залежить в значній мірі від регулюючої дії ферментів, що каталізують фосфорилування (протеїнкінази) та дефосфорилування (протеїнфосфатази). Ці білки знаходяться в молоці, ікрі риб, жовтку курячого яйця. Велика кількість фосфопротеїнів міститься в ЦНС. Найбільш поширеним серед фосфопротеїнів є білок молока *казеїн*, на частку якого припадає до 80 % всіх білків молока. До складу молока казеїн входить у формі кальцієвої солі. Крім казеїну, до фосфопротеїнів належать: *вітеліни* – білки яєчного жовтка, *овальбумін* – білок курячого яйця, *іхтулін* – білок ікри риб та багато інших.

Розглядаючи фосфопротеїни, необхідно звернути особливу увагу на те, що багато внутрішньоклітинних білків можуть оборотно включати до свого складу залишок ортофосфатної кислоти. В якості його донора виступає молекула АТФ. Включення до складу білка кислоти (фосфорилування білка) змінює конформацію його поліпептидного ланцюга і, як наслідок, його властивості. З цієї причини оборотне фосфорилування внутрішньоклітинних білків виступає в якості одного із закріплених в процесі еволюції шляхів регуляції каталітичної активності ферментів, а також спорідненості рецепторних білків до їх лігандів. У зв'язку з цим фосфопротеїни надзвичайно поширені в живих організмах. Вони містять зв'язаний лабільний фосфат, який є необхідним для виконання клітиною ряду біологічних функцій. Фосфопротеїни також є цінним джерелом енергетичного та пластичного матеріалу в процесах ембріогенезу та розвитку організму.

До **нуклеопротейнів** належать складні білки, у яких в якості небілкового компонента виступають нуклеїнові кислоти. В залежності від типу нуклеїнової кислоти, всі вони поділяються на:

- рибонуклеопротейни;
- дезоксирибонуклеопротейни.

Нуклеопротейни широко розповсюджені в клітині. Переважними місцями їх локалізації є ядро, цитоплазма та мітохондрії. Роль нуклеопротейнів зумовлюється функцією їх складових компонентів, тобто білків і нуклеїнових кислот, а саме: поділ клітин, синтез білка, збереження та передача спадкової інформації. В клітинних ядрах, що діляться, дезоксирибонуклеопротейни утворюють особливі структури – *хромосоми* (рис. 18). До складу хромосоми входять гістони та негістонові основні білки, а також одна дволанцюгова молекула ДНК. До ядра клітини кожного виду живих організмів входить певна, характерна для нього, кількість хромосом. Так, наприклад, в ядрах соматичних клітин організму людини міститься 46, щура – 38, жаби – 26 хромосом.

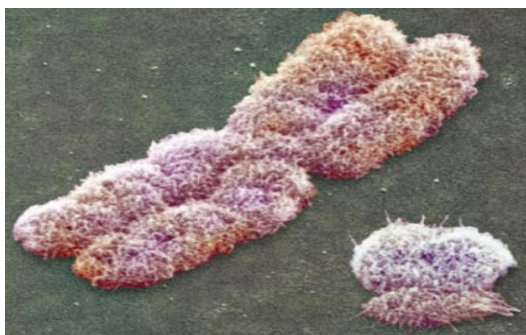


Рис. 18. Будова хромосоми

Рибонуклеопротейни беруть участь в утворенні рибосом. До складу рибосом входить декілька десятків білків та декілька різновидів РНК. Комплекси рибосомальної РНК з білками формують велику і малу субчастки рибосоми, які оборотно зв'язуються разом.

З нуклеопротейнами і, відповідно, нуклеїновими кислотами безпосередньо зв'язані такі біологічні процеси, як: мітоз, мейоз, ембріональний та злоякісний ріст тощо.

До **металопротеїнів** належать білки, які містять атоми (іони) металів, найчастіше у вигляді складних металоорганічних комплексів (наприклад, Ферум – у складі гема, Кобальт – у складі кобаламіну тощо).

Якщо білок містить у своєму складі окремі атоми металів, то їх сполучення з амінокислотними залишками поліпептидного ланцюга відбувається за рахунок координаційних зв'язків.

Представниками металопротеїнів є такі широко поширені білки:

- *феритин* й *трансферин*, а також *залізо-сірчані білки* дихального ланцюга мітохондрій (містять  $Fe^{2+}$ );
- *алкогольдегідрогеназа*, *РНК-полімераза* й *ДНК-полімераза*, *матриксні металопротеїнази* (містять  $Zn^{2+}$ );
- *цитохромоксидаза*, *супероксиддисмутаза* й *церулоплазмін* (містять  $Cu^{2+}$ );
- *ксантиноксидаза* і *нітрогеназа* (містять  $Mo$ );
- *метилмалоніл-КоА-мутаза* (містить  $Co^{2+}$ );
- *Mn-супероксиддисмутаза* (містить  $Mn^{2+}$ ) та багато інших.

Металопротеїни часто проявляють каталітичні властивості. Вони, як правило:

- входять до активного центру ферменту (його каталітичну частину) і беруть безпосередню участь у каталізі;
- забезпечують зв'язування активного центру ферменту з субстратом;
- виступають у ролі донорів й акцепторів електронів в окисно-відновних реакціях.

Завершуючи розгляд складних білків, слід ще раз звернути увагу на їх надзвичайно широке розповсюдження в живих організмах. Це пов'язано з тим, що вони виступають в ролі ферментів, транспортних білків, рецепторів та регуляторів процесів обміну речовин. Окремі білки, частіше ферменти, можуть лише на деякий час приєднувати до себе небілковий компонент та при цьому набувати нових властивостей, необхідних для виконання їх функцій. Разом із тим, білкова частка інших складних білків міцно приєднує до себе простетичну

групу одразу ж після синтезу поліпептидного ланцюга і в такому вигляді постійно присутня в клітині.

В деяких випадках молекула складного білка долучає до свого складу тільки один небілковий компонент. Разом із тим, досить часто білок містить одночасно кілька різних за хімічною структурою небілкових компонентів. До числа таких білків належать деякі флавопротеїни, ксантиноксидаза, церулоплазмін, казеїн, цитохромоксидаза та багато інших. Особливо велика кількість складних білків міститься в нервовій тканині.

### **Природні пептиди**

У живих організмах виявлено досить багато вільних пептидів. Частина з них утворюється в певних умовах у результаті часткового ферментативного гідролізу, а частина – зустрічаються як вільні сполуки, не зв'язані зі структурою білка. Інтерес до природних пептидів зумовлений їх надзвичайно високою біологічною активністю. Багато з них мають виразну фармакологічну дію і становлять інтерес як лікарські засоби.

На відміну від білкових поліпептидів природні пептиди більш різноманітні за складом: досить часто мають залишки D-амінокислот,  $\beta$ -амінокислот, містять циклічні фрагменти, розгалужені ланцюги тощо. Природні пептиди залежно від характеру дії та походження поділяються на декілька груп:

- пептиди, яким властива гормональна активність (вазопресин, окситоцин, кальцитонін, глюкагон, кортикотропін та ін.);
- регуляторні пептиди (пептиди гіпоталамуса – ліберини і статини; пептиди м'язів – ансерин, карнозин та ін.);
- нейропептиди мозку (енкефалін, ендорфін, скотофобін, пептиди пам'яті, сну і т. д.);
- пептиди, які беруть участь у процесах травлення (гастрин, секретин та ін.);
- тканинні гормони (ангіотензин, брадикінін, калідин, атріопептиди та ін.);



- антибіотики (граміцидини А, В, С і актиноміцин Д та ін.);
- алкалоїди (ерготамін, пандамін та ін.).

Таким чином, біологічна активність більшості пептидів пов'язана з їх регуляторною функцією, причому точки прикладання їх дії і ефективність в організмі є дуже різноманітними.

Білки виконують різноманітні і надзвичайно важливі функції, які наведені нижче.

1. **Каталітична, або ферментативна функція** – одна з головних функцій білкових сполук. Вона полягає у прискоренні хімічних перетворень розпаду і синтезу речовин, перенесенні окремих груп атомів, електронів, протонів від однієї речовини до іншої, тощо. Як біокаталізатори ферменти-білки беруть участь у тисячах взаємопов'язаних і взаємозумовлених перетворень, які відбуваються в живій клітині і складають основу її метаболізму. Ця функція дозволяє вважати білки найважливішим класом біорегуляторів.

2. **Будівельна (структурна, пластична) функція.** Макромолекули білків складають структурну основу всіх тканин і органів, утворюють основу протоплазми будь-якої живої клітини.

3. **Регуляторна функція.** Вона забезпечує регуляцію обміну речовин у клітинах та інтеграцію обміну в різних клітинах цілого організму. Ряд гормонів за своєю будовою належать до білків або продуктів їх перетворення; вони беруть участь у регуляції різноманітних процесів, які протікають в організмі. Регуляторна дія білків не обмежується тільки каталітичною та гормональною. Деякі білки відіграють роль інгібіторів активності ферментів і таким шляхом регулюють їх дію. Відома група білків – регуляторів геному. В останні роки виділені і широко вивчаються специфічні білки й пептиди, пов'язані із процесами пам'яті, знеболювання, сну, поведінки і деякими психічними станами.

4. **Захисна функція.** Ряд білкових сполук допомагає організму боротися зі збудниками хвороб та деякими патологіями. Процес зсідання крові, який захищає організм від надмірної її втрати, проходить за участю багатьох

білкових факторів. Внутрішні стінки органів травлення вистелені захисним шаром слизових білків-муцинів. Основу шкіри, що охороняє організм від багатьох зовнішніх впливів, складають білки (колаген).

5. **Транспортна функція.** Окремі групи білків здатні взаємодіяти з різноманітними сполуками і переносити їх. Так транспортуються в організмі нерозчинні у воді речовини (кисень, діоксид карбону, іони металів, ліпіди та ін.) і токсичні продукти (білірубін та ін.). Перенесення багатьох речовин через клітинні мембрани здійснюється за рахунок особливих білків-переносників.

6. **Рухова (механічна) функція.** Будь-які форми руху в живій природі забезпечуються білковими структурами клітин. Білки беруть участь у забезпеченні різних форм механічного руху – у скороченні і розслабленні м'язів, у роботі внутрішніх органів (серця, легенів, шлунка та ін.). Ці процеси відбуваються за участю таких білків, як актин, міозин, тропоміозин і ряду інших.

7. **Рецепторна функція.** Багато білкових сполук виконують важливу функцію вибіркового розпізнавання і приєднання окремих речовин. На поверхні клітинних мембран, а також усередині клітини розташовуються рецептори – білкові утворення, здатні вибірково взаємодіяти з різноманітними регуляторами (гормонами, медіаторами й іншими біологічно активними сполуками), зумовлюючи цілу низку специфічних ефектів.

8. **Поживна функція.** Цю функцію виконують так звані резервні, запасні білки, які є джерелом живлення плоду, клітин, які розвиваються. Білки – найважливіша складова частина їжі людини і корму тварин. Білку та його компонентам відводиться центральне місце і в проблемі створення синтетичної їжі, над розв'язанням якої працюють багато лабораторій світу.

9. **Знешкоджувальна функція.** Завдяки різноманітним функціональним групам білки можуть зв'язувати різні токсичні сполуки (важкі метали, алкалоїди, токсини та ін.) і знешкоджувати їх. На цьому засноване їхнє застосування як антидотів.

10. **Енергетична функція.** При повному окисненні одного грама білка виділяється близько 17,1 кДж енергії, що вказує на здатність білків брати

участь у забезпеченні організму енергією. Але використання білків із цією метою відбувається тільки у випадку нестачі основних джерел енергії – вуглеводів і ліпідів.

11. **Когенетична функція** (префікс «ко» в перекладі з латинської означає сумісність дії). Ця функція виконується складними білками – нуклеопротеїнами. Самі білки – це негенетичний (неспадковий) матеріал, але вони допомагають нуклеїновим кислотам реалізувати здатність до перенесення генетичної інформації і відтворення.

Поряд із наведеними, білки виконують ще й інші функції: *енерготрансформуючу* – беруть участь у трансформації електричної й осмотичної енергії в хімічну (АТФ); *енергоосмотичну* – забезпечують утворення різниці електричних зарядів і градієнта концентрації іонів на мембрані; створюють онкотичний тиск; входять до складу *буферних* систем організму, впливаючи на кислотно-основну рівновагу крові, на рН.

## Структура і функції вуглеводів, ліпідів та нуклеїнових кислот

**Вуглеводи** – полігідроксикарбонільні сполуки та продукти їх полімеризації. На частку вуглеводів припадає близько 2% від сухої маси тіла людини і тварин (значно менше, ніж білків і ліпідів). Але в рослинних організмах їх частка складає близько 80% сухої маси, тому в цілому в біосфері вуглеводів більше, ніж усіх інших органічних сполук разом узятих.

В організмі людини і тварин вуглеводи виконують дуже важливі **функції**: **енергетичну** (переважно за рахунок крохмалю і глікогену, які в організмі гідролізуються з вивільненням глюкози – легко засвоюваного джерела енергії для клітини); **структурну** (входять до складу різних внутрішньоклітинних структур і, передусім, мембран – глікопротеїни, гліколіпіди та ін.); **захисну** (участь вуглеводних компонентів імуноглобулінів у підтримці імунітету); **пластичну** (вуглеводи використовуються для синтезу нуклеїнових кислот, змішаних вуглеводовмісних біополімерів та ін.); **гідроосмотичну** (гіалуронова кислота як надзвичайно гідрофільний полісахарид зв'язує міжклітинну воду і катіони, регулюючи міжклітинний осмотичний тиск); **кофакторну** (вуглеводи виступають у ролі кофакторів ферментів); **опорну** (хондроїтинсульфати в кістковій тканині) і т. ін.

У хімічному відношенні вуглеводи являють собою поліоксикарбонільні сполуки та їх похідні, котрі містять як мінімум дві гідроксильні групи і карбонільну (альдегідну або кетонну) групу.

### Класифікація вуглеводів

Відповідно до структурної класифікації, що ґрунтується на хімічній будові, вуглеводи (сахариди) поділяються на три основні групи: *моносахариди*, *олігосахариди* і *полісахариди* (рис. 19).

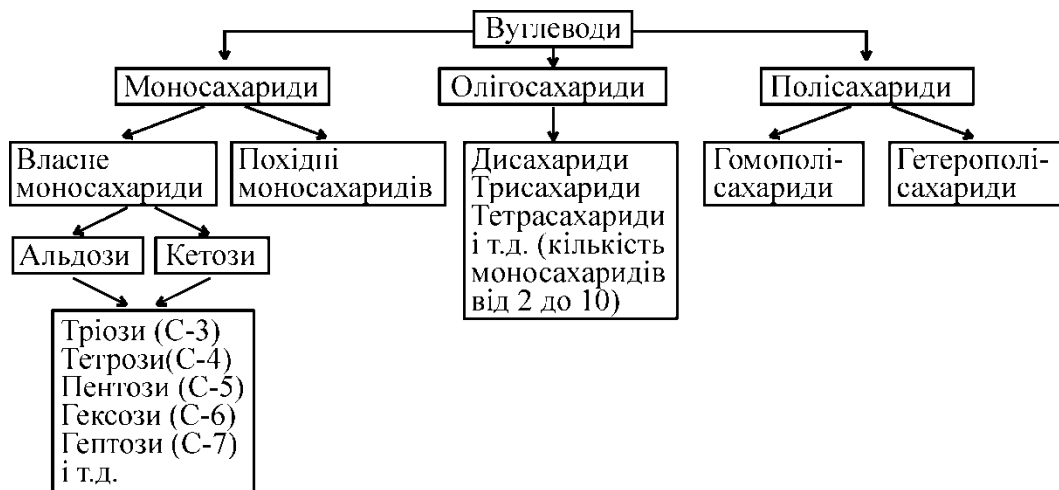


Рис. 19. Класифікація вуглеводів

### Моносахариди

Моносахариди є структурними мономерами полісахаридів і *не можуть бути гідролізовані до більш простих форм зі збереженням властивостей вуглеводів.*

Якщо карбонільна група знаходиться в кінці ланцюга, то моносахарид являє собою альдегід і називається **альдозою**; при будь-якому іншому положенні цієї групи моносахарид є кетоном і називається **кетозою**.

В залежності від розташування гідроксильних груп біля останнього асиметричного атома карбону, який є найвіддаленішим від карбонільної групи, подібного розташуванню ОН-групи в D- чи L-гліцеральдегіді, усі ізомери моносахаридів підрозділяються на D- і L-форми (D- і L-конфігурації). Природні гексози (глюкоза, фруктоза, маноза, галактоза) належать, як правило, до стереоізомерів D-ряду (рис. 20). Саме до цієї конфігурації є специфічними ферменти, які відповідають за їх метаболізм в організмі людини і тварин.

Ізомерні форми моносахаридів, які відрізняються один від одного тільки конфігурацією напівацетального вуглецевого атома ( $\alpha$ -D-глюкопіраноза і  $\beta$ -D-глюкопіраноза), називаються **аномерами** (рис. 21).

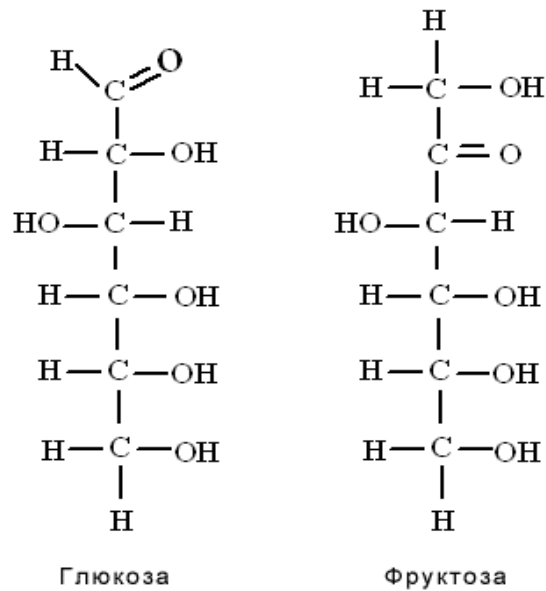


Рис. 20. Структурні формули глюкози та фруктози

З різних таутомерних форм глюкози у вільному стані відомі тільки  $\alpha$ - і  $\beta$ -піранози. Існування малих кількостей фураноз і альдегідної форми в розчинах доведено, але у вільному стані вони не виділені через їх нестійкість.

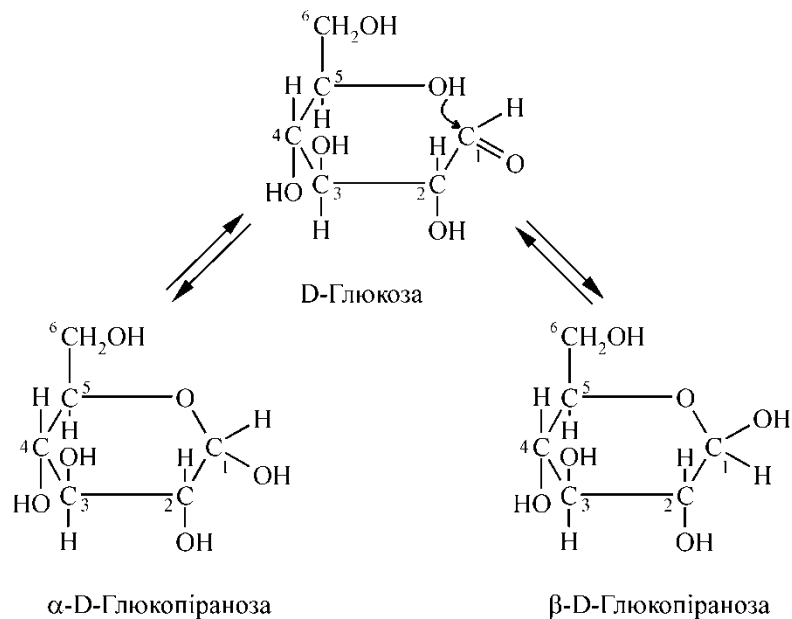


Рис. 21. Аномерні форми глюкози

### Олігосахариди

**Олігосахариди** – це вуглеводи, до складу яких входять від двох до десяти ланок моносахаридів, з'єднаних глікозидними зв'язками.

Вони відрізняються один від одного складом моносахаридів і типом глікозидного зв'язку. До них відносяться ди-, три-, тетрасахариди і т. д. У вільному вигляді в живих клітинах зустрічаються переважно дисахариди. Більш великі олігосахариди частіше входять у вигляді компонентів до складу глікопротеїнів і гліколіпідів.

До найбільш розповсюджених дисахаридів можна віднести сахарозу, широко розповсюджену в рослинному світі (у цукровій тростині, цукровому буряку, кленовому соку тощо), і яку використовують в побуті як цукор; лактозу, яка знаходиться в молоці; мальтозу, яка є продуктом часткового гідролізу крохмалю в рослинах або глікогену у тваринній клітині; трегалозу, яка знаходиться у грибах і т.ін.

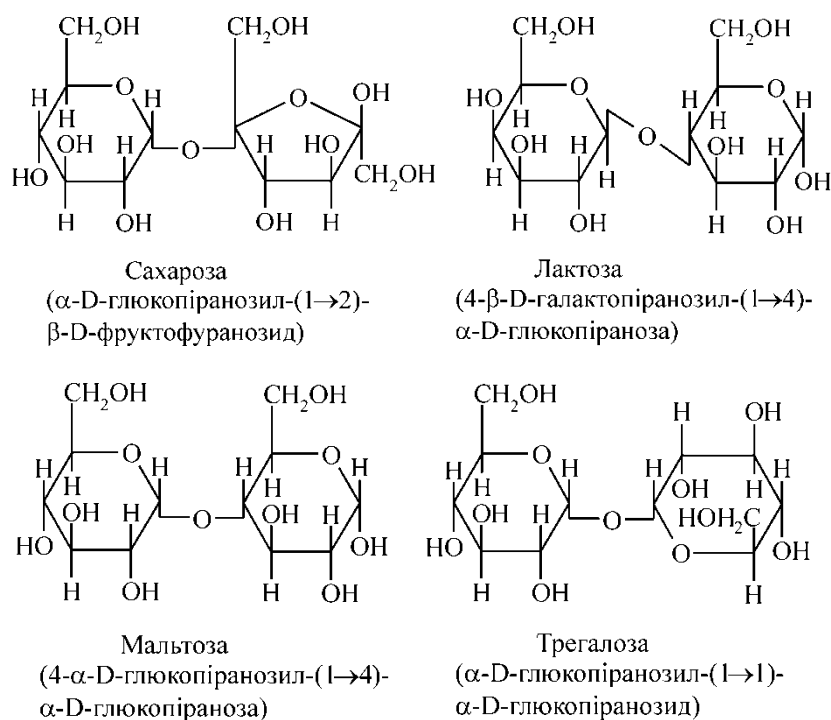


Рис. 22. Структурні формули сахарози, лактози, мальтози та трегалози

## Полісахариди

**Полісахариди** – це вуглеводи, до складу яких входить більше десяти моносахаридів, з'єднаних між собою глікозидними зв'язками. Вони відрізняються один від одного кількістю й однорідністю моносахаридів або їх похідних, послідовністю розташування залишків і природою глікозидного зв'язку між ними.

Полісахариди можна поділити на *гомополісахариди*, утворені моносахаридами одного типу, і *гетерополісахариди*, які складаються із різних моносахаридів.

Основними представниками гомополісахаридів є крохмаль і глікоген (резервні полісахариди рослин і тварин), целюлоза і хітин (структурні полісахариди рослин і безхребетних тварин відповідно).

*Крохмаль* являє собою суміш двох полісахаридів: лінійного – амілози і розгалуженого – амілопектину. Обидва компоненти складаються із залишків  $\alpha$ -D-глюкози, з'єднаних в амілозі і в лінійних ланцюгах амілопектину  $\alpha$ -1 $\rightarrow$ 4-зв'язками, а в точках розгалуження амілопектину – міжланцюговими  $\alpha$ -1 $\rightarrow$ 6-зв'язками.

Як правило, на частку амілози в крохмалі припадає 10–30 %, а амілопектину – 70–90 % (рис. 23).

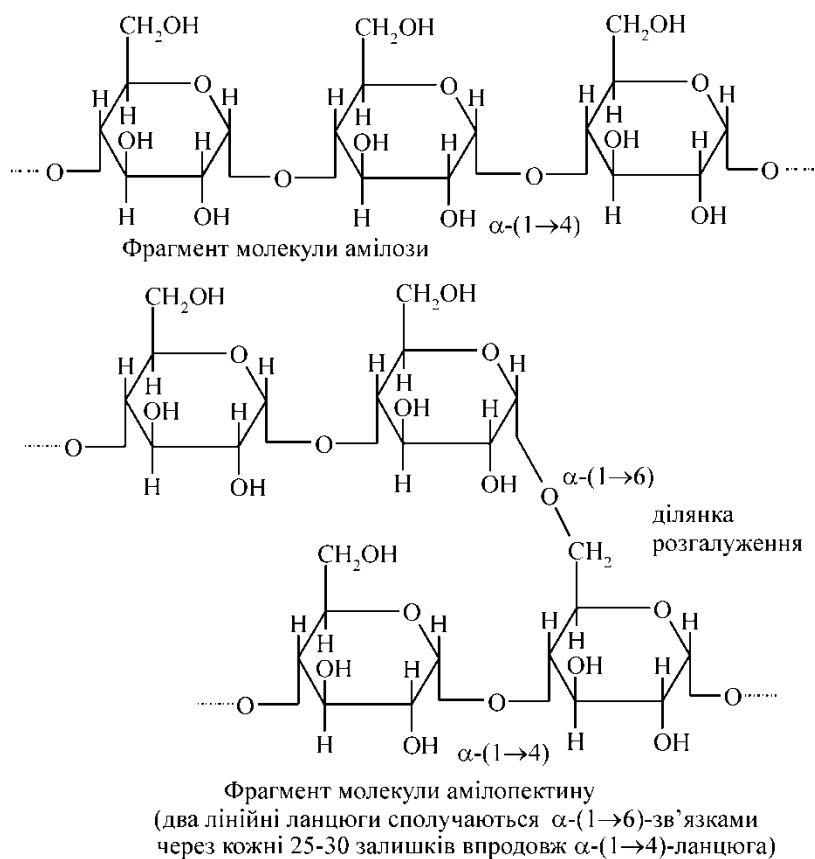


Рис. 23. Фрагменти молекули амілози та амілопектину

Біологічна роль крохмалів полягає в тому, що вони являють собою форму зберігання поживних речовин в рослинах. Найбагатші на крохмаль бульби



(наприклад, картоплі) і насіння (особливо кукурудзи), проте синтезувати крохмаль здатні майже всі клітини рослин.

**Глікоген** – основний резервний полісахарид вищих тварин і людини, побудований із залишків  $\alpha$ -D-глюкози. Його роль є аналогічною до ролі крохмалю в клітинах рослин. Глікоген міститься в усіх органах і тканинах тварин і людини, а також у невеликих кількостях у бактеріях і рослинах. Найбільша кількість його виявлена в печінці (близько 7 % загальної маси органу) і скелетних м'язах. У клітинах печінки глікоген присутній у вигляді крупних гранул, які, у свою чергу, складаються з менших гранул. Останні утворені одиничними сильно розгалуженими молекулами глікогену із середньою молекулярною масою в декілька мільйонів дальтон. З цими ж гранулами тісно зв'язані ферменти, які відповідають за синтез і розпад глікогену.

У глікогені точки розгалуження, які виникають за рахунок  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6)-зв'язків, зустрічаються приблизно через кожні 8–10 залишків уздовж  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4)-ланцюга.

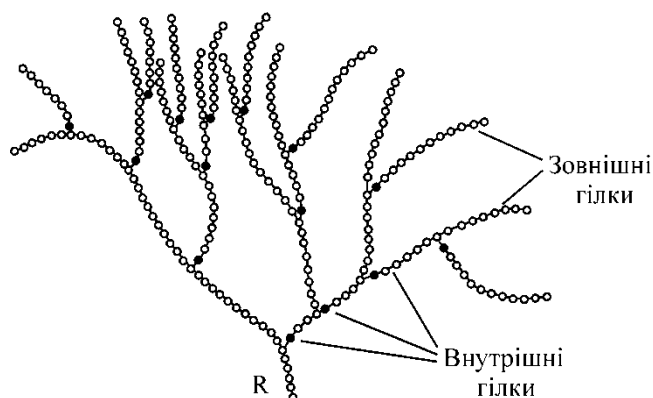


Рис. 24. Будова молекули глікогену

У молекулі глікогену розрізняють внутрішні гілки – ділянки поліглюкозидних ланцюгів між точками розгалуження, і зовнішні гілки – ділянки від периферичної точки розгалуження до нередукуючого кінця ланцюга.

**Целюлоза** (клітковина) – найпоширеніший структурний гомополісахарид рослинного світу. Целюлоза – міцна, волокниста, водонерозчинна речовина –

міститься в стінках клітин рослин, головним чином у гілках, стеблах, стовбурах та інших дерев'янистих частинах рослин. Особливо багаті на целюлозу волокна бавовни, де її вміст складає 98–99 %. У невеликих кількостях вона також синтезується деякими бактеріями і тваринами.

Целюлоза – це лінійний, нерозгалужений гомополісахарид, який складається з 10 000 і більше залишків D-глюкози, які знаходяться в  $\beta$ -D-конфігурації, і сполучені між собою за допомогою  $\beta$ -(1→4)-глікозидних зв'язків.

За допомогою водневих зв'язків, які виникають всередині ланцюга, а також між окремими ланцюгами, які орієнтовані паралельно один до одного, сусідні ланцюги целюлози з'єднуються між собою й утворюють довгі нерозчинні фібрили.

Структурною одиницею целюлози є дисахарид  $\beta$ -целобіоза (рис. 25).

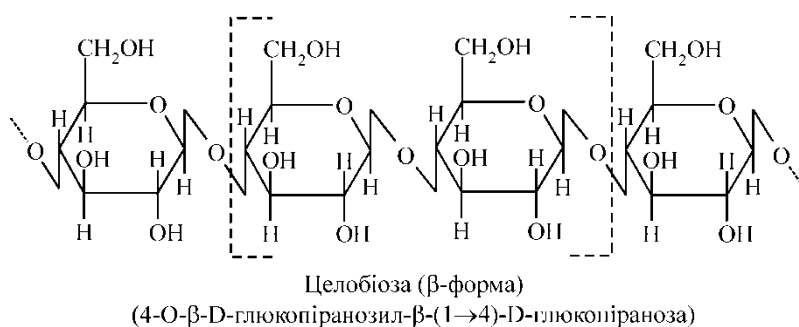


Рис. 25. Графічне зображення фрагменту целюлози – целобіози.

**Хітин** – структурний аналог целюлози, побудований із залишків N-ацетил-D-глюкозаміну, сполучених між собою  $\beta$ -(1→4)- глікозидними зв'язками. Макромолекули хітину мають нерозгалужену лінійну структуру і, подібно до целюлози в рослинах, виконують опорні і механічні функції у тваринних організмах (панцирі омарів, крабів та інших ракоподібних, рогові оболонки комах і т. ін.). Він також знайдений у більшості грибів, багатьох морських водоростях і деяких видах дріжджових клітин як компонент клітинних стінок. Подібно до целюлози, окремі ланцюги хітину сполучені між собою водневими зв'язками.

**Інулін** – гомополісахарид, який складається із залишків D-фруктопіранози, сполучених  $\beta$ -(2→1)-зв'язками. Інулін накопичується в бульбах, міститься у водоростях. Цей полісахарид на відміну від картопляного крохмалю легко розчиняється в теплій воді; його раніше використовували у фізіологічних дослідженнях для визначення швидкості клубочкової фільтрації в нирках.

**Пектинові речовини** – в основі структури лежить пектова кислота (полігалактуронова). Залишки D-галактуронової кислоти сполучені  $\alpha$ -(1→4)-глікозидними зв'язками. Пектинові речовини містяться в плодах та овочах, і для них характерне желеутворення в присутності органічних кислот, що використовується в харчовій промисловості (желе, мармелад). Деякі з них виявляють противиразкову дію (препарат плантаглюцид із подорожника).

### **Ліпіди**

**Ліпіди** (lipos – жир, грецьк.) – це велика група різноманітних за хімічною будовою органічних речовин нерозчинних у воді і розчинних у неполярних органічних розчинниках – ефірі, хлороформі, ацетоні, бензолі і т.ін.

#### **Загальна біологічна характеристика ліпідів**

Біологічні функції ліпідів визначаються їхньою будовою і фізико-хімічними властивостями. Специфічною властивістю ліпідів є їхня здатність утворювати у водному середовищі емульсії різного ступеня дисперсності та стійкості. Ця властивість має суттєве біологічне значення. Так, від емульгування ліпідів у шлунково-кишковому тракті залежить їх розщеплення та всмоктування. У вигляді емульсії жир знаходиться в крові, лімфі і транспортується до різних органів і тканин, включаючись в обмінні процеси.

Ліпіди відіграють подвійну біологічну роль – енергетичну та структурну. При їхньому розщепленні звільнюється велика кількість енергії. Так, окиснення 1 г жиру в організмі людини супроводжується утворенням 35–39 кДж енергії.

Ліпіди як пластичний матеріал, утворюючи комплекси з білками (ліпопротеїни), вуглеводами (гліколіпіди), складають основу структури клітин і тканин.

Особливо важливою є роль ліпідів у **структурі мембран** клітин та клітинних органел – мітохондрій, рибосом, ядра тощо.

Високий вміст ліпідів у клітинах нервової тканини й особливо головного мозку свідчить про їхню важливу роль у формуванні структури і функцій нервової системи.

Як складні ефіри спиртів та вищих жирних кислот, ліпіди є найважливішим джерелом ендогенної води, яка утворюється під час їхнього окиснення, тому що з усіх органічних сполук ліпіди містять найбільшу кількість атомів гідрогену.

Ліпіди і продукти їхнього обміну утворюють велику групу біологічно активних сполук, які впливають на метаболізм і структуру клітин і організму в цілому. Це чоловічі й жіночі статеві гормони, гормони кори надниркових залоз (кортикостероїди), простагландини, жовчні кислоти й жиророзчинні вітаміни – А, Д, К і Е.

### **Класифікація ліпідів**

Існують три основні класифікації ліпідів: *біологічна*, або *фізіологічна*, *фізико-хімічна* і *структурна*.

**Біологічна класифікація.** Відповідно до цієї класифікації ліпіди поділяють на *резервні* і *структурні*. Резервні ліпіди у великих кількостях депонуються в підшкірній жировій тканині, сальниках внутрішніх органів і в інших жирових депо. Загальна кількість резервних ліпідів у більшості людей становить 10–15% маси тіла. Однак кількість резервних ліпідів може значно змінюватися залежно від режиму харчування, інтенсивності фізичного навантаження, стану організму та інших причин. При ожирінні кількість жиру може досягати 25–35%, а іноді навіть 50 % маси тіла.

Резервні ліпіди за своєю хімічною структурою належать, головним чином, до ацилгліцеринів і в значних кількостях використовуються для енергетичних потреб організму.

Структурні ліпіди не мають такої енергетичної цінності, як резервні ліпіди. Це переважно складні ліпіди, і у вигляді ліпопротеїнів вони складають основу клітинних структур і субклітинних утворень.

**Структурна класифікація** – це найскладніша класифікація, яка ґрунтується на хімічній будові ліпідів. Відповідно до цієї класифікації ліпіди поділяються на три великі групи: прості, складні та похідні ліпідів (рис. 26).

**Прості ліпіди** – у хімічному відношенні є складними ефірами різних спиртів та жирних кислот. Залежно від спиртового компонента вони діляться на такі підгрупи:

1. Нейтральні жири або гліцериди (ацилгліцерини) – складні ефіри трьох-атомного спирту гліцерину та вищих жирних кислот.
2. Стерини і стериди. Стерини – одноатомні циклічні спирти. Стериди – складні ефіри одноатомних циклічних спиртів стеринів і вищих жирних кислот.
3. Воски – складні ефіри вищих одноатомних спиртів і вищих жирних кислот.

**Складні ліпіди** – це також ефіри вищих жирних кислот і спиртів, але на відміну від простих ліпідів, вони мають у своїй структурі ряд інших компонентів (азотисті сполуки, залишки фосфорної або сірчаної кислот, вуглеводи тощо). До складних ліпідів відносяться:

1. Фосфоліпіди (фосфатиди) – складні ефіри спиртів (гліцерину або сфінгозину) і жирних кислот. Окрім того, до їх складу входять залишки фосфорної кислоти і азотисті сполуки (холін, коламін або серин).
2. Гліколіпіди – складні ефіри аміноспирту сфінгозину та жирних кислот, зв'язані з вуглеводами (глюкоза, галактоза). Деякі з гліколіпідів містять нейрамінову кислоту і галактозамін.

Сульфоліпіди – подібні до гліколіпідів, але мають у своєму складі залишок сірчаної кислоти.

**Похідні ліпідів.** Ця група речовин включає різноманітні сполуки, котрі близькі до ліпідів за будовою і фізико-хімічними властивостями.

До них належать такі речовини, як насичені і ненасичені жирні кислоти, моно- і диацилгліцерини, вищі спирти, а також каротини, жиророзчинні вітаміни (А, Д, Е, К) та ін.

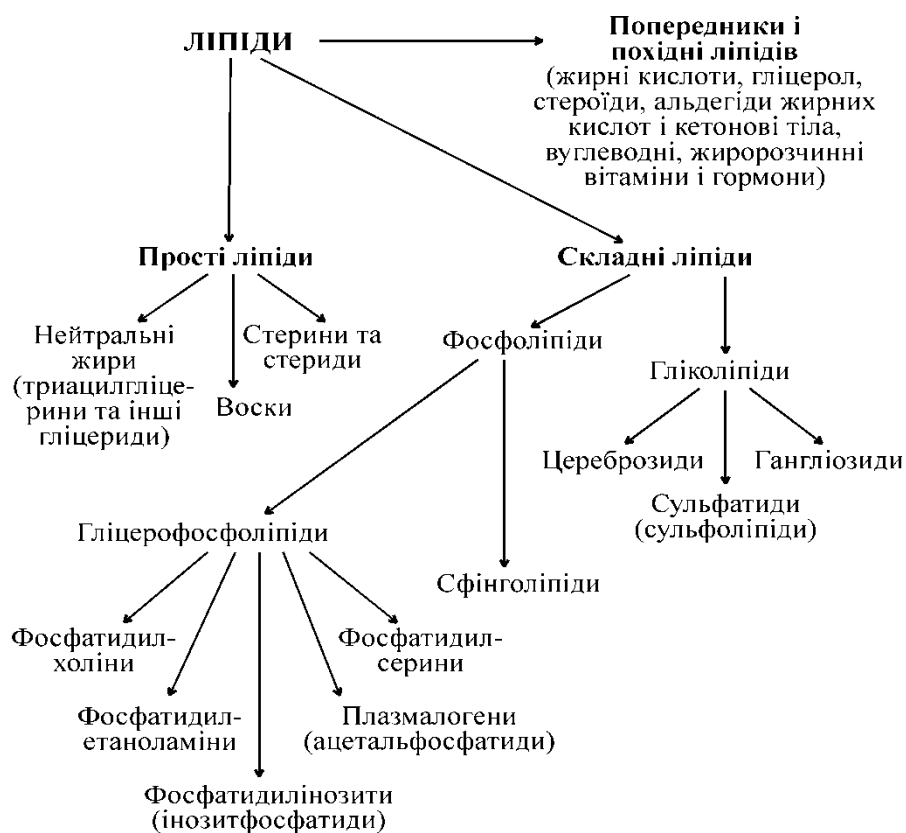


Рис. 26. Схема структурної класифікації ліпідів

### Прості ліпіди

Нейтральні жири – тригліцериди (триацилгліцерини). Вони складають основу резервних ліпідів і служать джерелом енергії. Оскільки жири є складними ефірами гліцерину і жирних кислот, то їх різноманітність залежить переважно від природи і властивостей жирних кислот, які входять до складу їх молекули.

Вищі жирні кислоти є основними гідрофобними компонентами простих і складних ліпідів. Із різних ліпідів виділено понад 200 жирних кислот. Вони відрізняються між собою довжиною ланцюга, числом і положенням подвійних зв'язків, а також замісниками (окси-, кето-, циклічні структури). Більшість

жирних кислот, які входять до складу жирів, мають нерозгалужений вуглеводневий ланцюг і парну кількість атомів карбону (табл. 3).

Таблиця 3

### Жирні кислоти

Загальноприйнята назва і формула	Назва за Женевською номенклатурою і структурна формула
<b>Насичені</b>	
Пальмітинова C <sub>15</sub> H <sub>31</sub> COOH	Гексадеканова CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> -C $\begin{smallmatrix} \text{=O} \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$
Стеаринова C <sub>17</sub> H <sub>35</sub> COOH	Октадеканова CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> -C $\begin{smallmatrix} \text{=O} \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$
<b>Ненасичені</b>	
Олеїнова C <sub>17</sub> H <sub>33</sub> COOH	9-Октадеценева CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> -CH=CH- -(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> -C $\begin{smallmatrix} \text{=O} \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$
Лінолева C <sub>17</sub> H <sub>31</sub> COOH	9,12-Октадекадієнова CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> - -CH=CH-CH <sub>2</sub> -CH=CH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> -C $\begin{smallmatrix} \text{=O} \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$
Ліноленова C <sub>17</sub> H <sub>29</sub> COOH	9,12,15-Октадекатрієнова CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> - -CH=CH-CH <sub>2</sub> -CH=CH-CH <sub>2</sub> -CH=CH- -(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> -C $\begin{smallmatrix} \text{=O} \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$
Арахідонова C <sub>19</sub> H <sub>31</sub> COOH	5,8,11,14-Ейкозатетраєнова CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> - -CH=CH-CH <sub>2</sub> -CH=CH-CH <sub>2</sub> -CH=CH- -CH <sub>2</sub> -CH=CH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> -C $\begin{smallmatrix} \text{=O} \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$

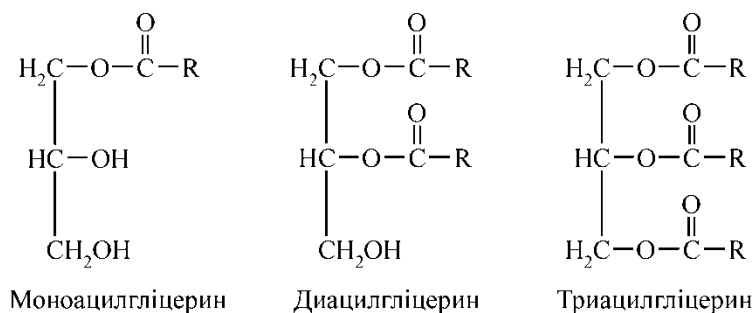
Найважливішими для організму людини і вищих тварин є такі поліненасичені кислоти, як лінолева, ліноленова й арахідонова. Ці кислоти в організмі або зовсім не синтезуються (лінолева і ліноленова), або утворюються в недостатніх кількостях (арахідонова), тому їх називають *незамінними*, або *есенціальними* кислотами (essential – виключний, франц.) і відносять до

вітамінів (вітамін F, fat – жир, англ.). Ці кислоти відзначаються високою біологічною активністю. Експериментально доведено, що у разі недостатності лінолевої і ліноленової кислот у тварин, наприклад у щурів, починається випадіння шерсті, посилюється злущування епітелію, а в молодих тварин припиняється ріст.

Характерними біохімічними ознаками дефіциту ненасичених жирних кислот є порушення обміну холіну, холестерину і фосфору.

Встановлено, що поліненасичені жирні кислоти знижують вміст холестерину в крові, стимулюють його обмін у печінці і виведення із жовчю. Ефіри холестерину з поліненасиченими жирними кислотами – це важлива транспортна форма стероїдів і необхідна ланка їх метаболізму. Похідними поліненасичених жирних кислот є гормони простагландини.

**Гліцерин** утворює ефіри з жирними кислотами – типу гліцеридів (ацилгліцеринів), які називають також *нейтральними ліпідами*. Ацилгліцерини поділяються на моно-, ди- та триацилгліцерини, які містять відповідно один, два і три ефіров'язані ацили (RCO–):



### Стерини та стериди

Сполуки цієї групи можна розглядати як похідні відновленої конденсованої циклічної системи – циклопентанпергідрофенантрону, який складається з трьох конденсованих циклогексанових кілець (А, В і С) у нелінійному або фенантреновому сполученні і циклопентанового кільця D.

Стерини, або стероли, – одноатомні вторинні спирти, похідні циклопентанпергідрофенантрону. Вони широко розповсюджені в живій природі і залежно від походження розподіляються на дві групи – тваринні



(зоостерини) і рослинні (фітостерини). У складі тканин стерини перебувають або у вільному стані, або (частіше) у вигляді складних ефірів з жирними кислотами – стеридів.

До зоостеринів відносяться: холестерин ( $C_{27}H_{45}OH$ ), десмостерин ( $C_{27}H_{43}OH$ ), ланостерин ( $C_{30}H_{40}OH$ ) і ряд інших. Найбільше значення в організмі людини і тварин має холестерин:

**Холестерин** (холестерол, рис. 27) уперше був виділений ще у XVIII сторіччі із жовчних каменів, звідки і походить його назва (chole – жовч, лат.).

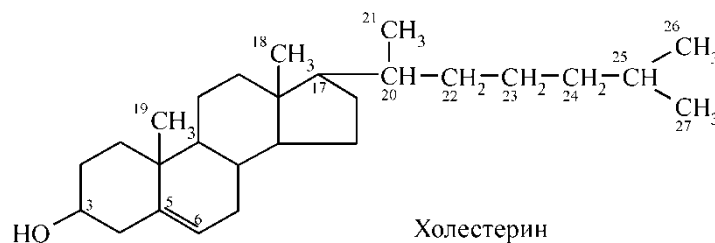


Рис. 27. Структурна формула холестеролу

Холестерол і його ефіри є складовою частиною мембран клітин і субклітинних структур. Особливо великий їх вміст (більше 2 %) у тканині головного мозку. У крові ефіри холестеролу складають основну частину загального холестерину і транспортуються в складі ліпопротеїнів.

В організмі людини та вищих тварин із холестеролу утворюються такі біологічно активні сполуки, як гормони кори надниркових залоз – кортикостероїди, статеві гормони, а також жовчні кислоти.

Холестерол може з'єднуватися своєю гідроксильною групою не тільки з жирними кислотами, але й з іншими сполуками, в тому числі токсичними речовинами (наприклад, з токсинами патогенних мікроорганізмів, гемолітичними отрутами змій тощо) і знешкоджувати їх.

Окрім холестеролу, у деяких тканинах (кістковий мозок, кров, нервова тканина, шкіра) у невеликих кількостях містяться 7-оксихолестерол, 7-дегідрохолестерол, який має ще один подвійний зв'язок у положенні  $C_7-C_8$ . Під дією ультрафіолетового опромінення 7-дегідрохолестерол, який є у людини в шкірі перетворюється на вітамін  $D_3$ .

## Воски

Загальна назва *воски* відноситься до природних ефірів вищих жирних кислот і вищих монооксиспиртів. Воски утворюють захисне покриття на шкірі, шерсті, пір'ї, а також є головними ліпідними компонентами багатьох видів морського планктону – одного з основних джерел їжі океанської фауни.

*Ланолін* – жир шерсті вівці є сумішшю жирнокислотних ефірів ланостерину й агностерину і застосовується у фармації як мазева основа.

*Спермацет*. Входить до складу спермацетового масла, яке добувають із черепних порожнин кашалота.

Основна складова частина спермацету – *цетилпальмітин* – складний ефір цетилового спирту і пальмітинової кислоти (рис. 28).

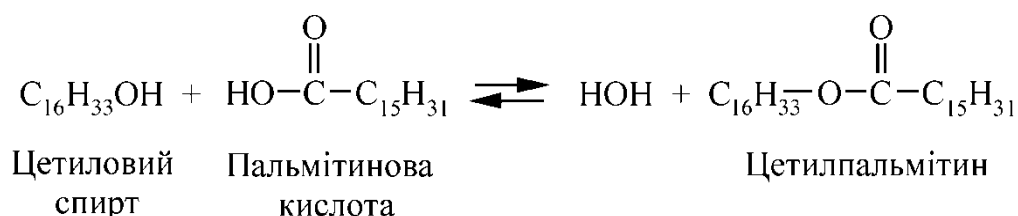


Рис. 28. Схема утворення цетилпальмітину

*Бджолиний віск* – це суміш різних речовин ліпідної природи, серед яких основною складовою частиною є складний ефір мірицилового спирту і пальмітинової кислоти – мірицилпальмітин (рис. 29).

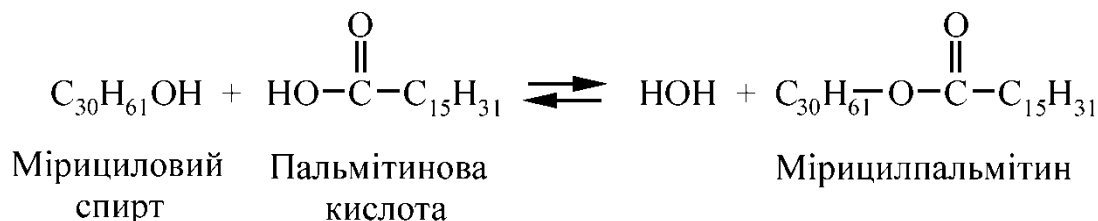


Рис. 29. Схема утворення мірицилпальмітину

Ланолін, спермацет та бджолиний віск широко використовуються в парфумерії і фармації як основа для приготування кремів і мазей.

## Складні ліпіди

Складні та змішані ліпіди на відміну від простих ліпідів містять неліпідний компонент, наприклад фосфат (фосфоліпіди), вуглевод (гліколіпіди) та ін.

Фосфоліпіди (фосфатиди), як уже зазначалося, є складовою частиною мембран клітин і субцелюлярних структур – ядер, мітохондрій, рибосом. Це складні ефіри жирних кислот та спиртів, але, крім того, до їх складу входять фосфорна кислота і такі азотовмісні речовини, як амінокислоти й аміноспирти.

Залежно від характеру спирту, що входить до складу їх молекули, фосфатиди поділяються на дві групи: фосфатиди-гліцериди, або фосфогліцериди і фосфатиди-негліцериди.

## Фосфогліцериди

Ліпіди цього класу, що називаються також *гліцерофосфатами*, містяться практично тільки в клітинних мембранах, і лише дуже невелика кількість фосфогліцеридів знаходиться в складі жирових депо.

Молекули всіх фосфогліцеридів мають полярну голову і два неполярних вуглеводневих хвости; тому їх називають *амфіпатичними*, або *полярними* ліпідами.

Лецитин відноситься до *фосфатидилхолінів* (рис. 30).

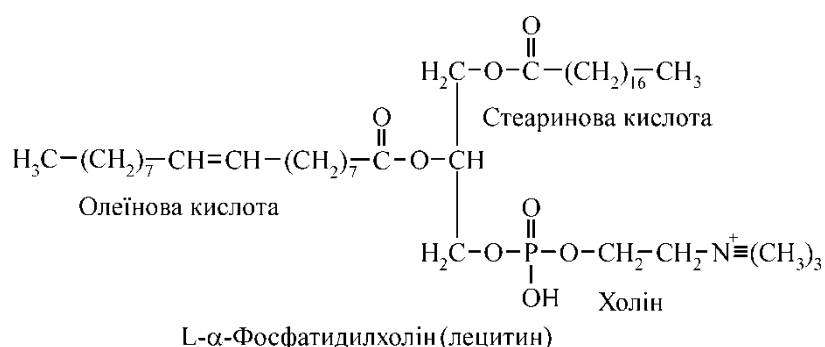


Рис. 30. . Структурна формула лецитину

*Кефалін*. Ця група фосфоліпідів на відміну від лецитинів містить замість холіну аміноспирт коламін (етаноламін). Тому ця група фосфоліпідів одержала назву коламінфосфатидів, або *фосфатидилетаноламінів* (рис. 31).



## Гліколіпіди і сульфоліпіди

Гліколіпіди – це велика група складних ліпідів, що містять у своєму складі вуглеводи.

**Цереброзиди** можна розглядати і як гліколіпіди, і як сфінголіпіди, оскільки ці сполуки містять і цукор, і аміноспирт сфінгозин. Особливо багато цереброзидів міститься в мембранах нервових клітин і, зокрема, в мієліновій оболонці. Жирні кислоти, які входять до складу цереброзидів, незвичайні, бо містять понад 20 атомів карбону; найчастіше зустрічаються нервонова, церебронова і лігноцеринова кислоти.

Нижче наведено формулу цереброзиду нервону, до складу якого входять нервонова кислота ( $C_{23}H_{45}COOH$ ) і галактоза. Остання своїм напівацетальним гідроксилом утворює глікозидний зв'язок зі спиртовою групою сфінгозину (рис. 33).



Рис. 33. Структурна формула цереброзиду нервону

Інший великий клас гліколіпідів складають **гангліозиди**. Це надзвичайно складні, багаті вуглеводами ліпіди з дуже великими молекулами. Як правило вони виявляються на зовнішній поверхні клітинних мембран, особливо в нервовій тканині.

**Сульфоліпіди** – це сульфатні похідні цереброзидів. Сульфат приєднується до третього гідроксилу галактози. Вони мають дуже виразні кислотні властивості і легко зв'язують катіони. Вважають, що вони беруть участь у транспорті катіонів через мембрани нервових клітин і волокон. Тому

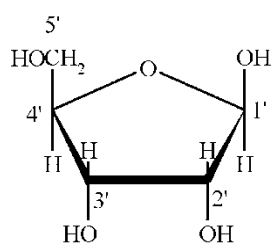
сульфоліпіді потрібні для нормальної електричної активності нервової системи.

### Загальна характеристика будови нуклеїнових кислот

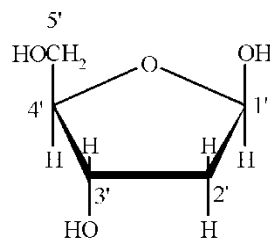
**Нуклеїнові кислоти** – це високомолекулярні органічні сполуки, які складаються з великої кількості залишків мононуклеотидів (нуклеотидів), з'єднаних 3',5'-фосфодіефірними зв'язками в полінуклеотидні ланцюги, і які виконують важливу роль у збереженні й передачі генетичної інформації, беруть участь у біосинтезі та регуляції біосинтезу специфічних білків живого організму.

Нуклеїнова кислота – це гетерополімер, мономер якого представлені не однією певною речовиною, а трьохкомпонентним утворенням – нуклеотидом. Нуклеотиди складаються із гетероциклічної основи, сполученої з вуглеводним залишком, етерифікованим, у свою чергу, фосфорною кислотою.

Нуклеїнова кислота називається *рибонуклеїною* (РНК), якщо до її складу входить рибоза, або *дезоксирибонуклеїною* (ДНК), якщо до її складу входить дезоксирибоза. Пентози у складі нуклеїнових кислот присутні завжди в  $\beta$ -D-фуранозній формі:



$\beta$ -D-рибофураноза  
(рибоза)



$\beta$ -2'-дезоксид-рибофураноза  
(дезоксирибоза)

**Азотисті основи.** Азотисті основи, які входять до складу нуклеїнових кислот, є похідними гетероциклічних сполук – пурину і піримідину (рис. 34).

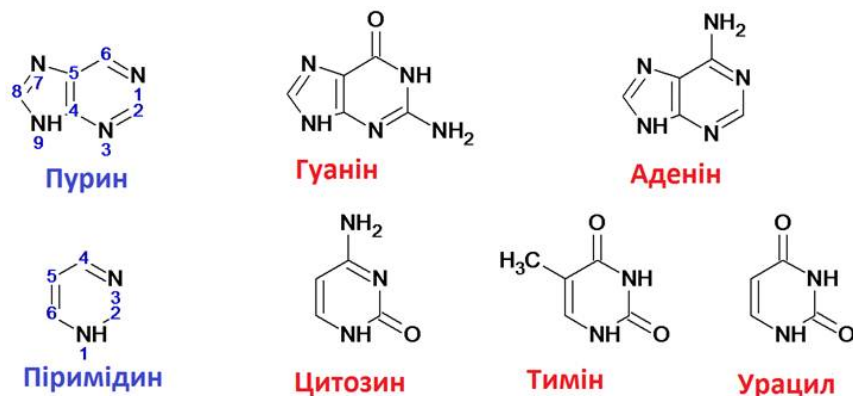
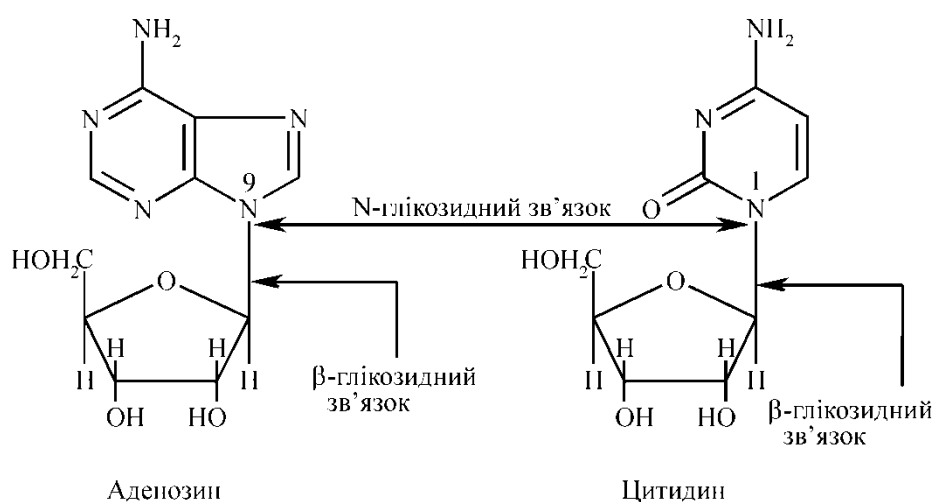


Рис. 34. Структурні формули азотистих основ, похідних пурину і піримідину

До складу ДНК входять аденін, гуанін, цитозин, тимін; до складу РНК – аденін, гуанін, цитозин, а замість тиміну – урацил.

**Нуклеозиди.** Азотисті основи, з'єднуючись із пентозами, утворюють сполуки, що одержали назву нуклеозидів. Пуринові основи через 9-й атом азоту, а піримідинові – через 1-й – утворюють N-глікозидний зв'язок із рибозою або 2'-дезоксирибозою. При цьому завжди утворюється β-глікозидний зв'язок (за рахунок відщеплення молекули води – гідрогену від N<sup>9</sup> або N<sup>1</sup> основ і гідроксигрупи аномерного атома С-1' рибози):



Використовуються назви, які походять від тривіальної назви відповідної азотистої основи із закінченням *-ідин* (*-идин*) у піримідинових і *-озин* – у пуринових нуклеозидів:



Цитозин + Рибоза → Цитидин (Ц)    Урацил + Рибоза → Уридин (У)

Аденін + 2'-Дезоксирибоза → Дезоксиаденозин (дА)

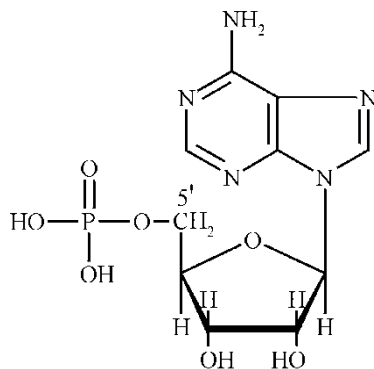
Гуанін + 2'-Дезоксирибоза → Дезоксигуанозин (дГ)

Цитозин + 2'-Дезоксирибоза → Дезоксицитидин (дЦ)

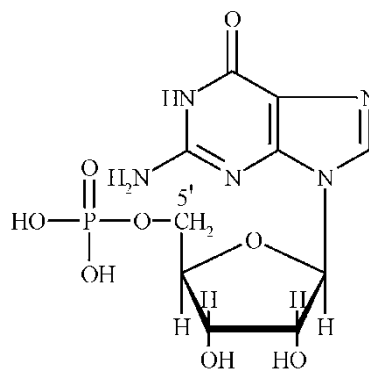
Тимін + 2'-Дезоксирибоза → Дезокситимідин (дТ)

**Нуклеотиди** – це фосфати нуклеозидів.

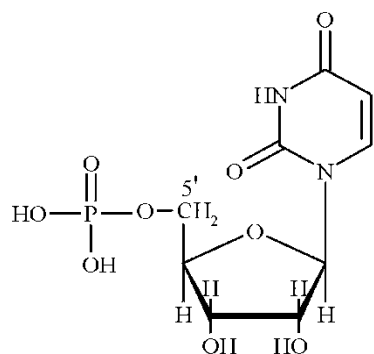
### 1. Рибонуклеотиди:



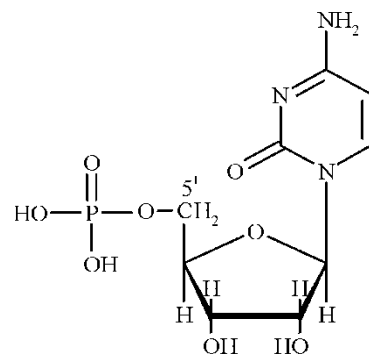
Аденозин-5'-  
монофосфат  
Аденілова кислота  
(АМФ)



Гуанозин-5'-  
монофосфат  
Гуанілова кислота  
(ГМФ)



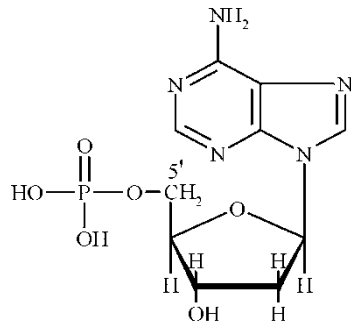
Уридин-5'-  
монофосфат  
Уридилова кислота  
(УМФ)



Цитидин-5'-  
монофосфат  
Цитидилова кислота  
(ЦМФ)

### 2. Дезоксирибонуклеотиди:





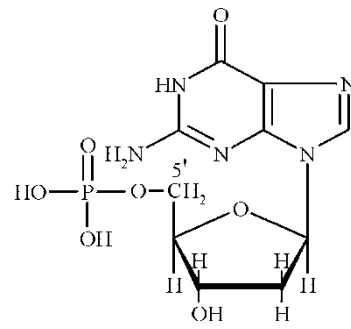
Дезоксиаденозин-5'-

монофосфат

Дезоксиаденілова

кислота

(дАМФ)



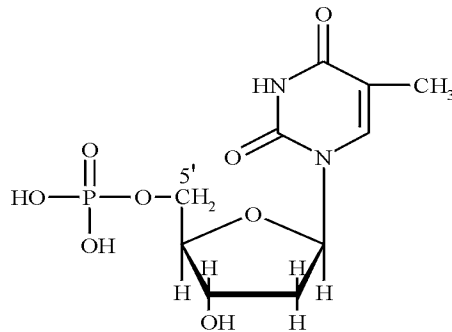
Дезоксигуанозин-5'-

монофосфат

Дезоксигуанілова

кислота

(дГМФ)



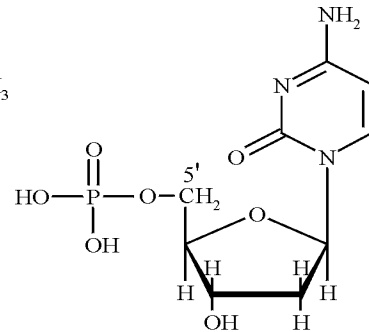
Дезокситимідин-5'-

монофосфат

Дезокситимідилова

кислота

(дТМФ)



Дезоксицитидин-5'-

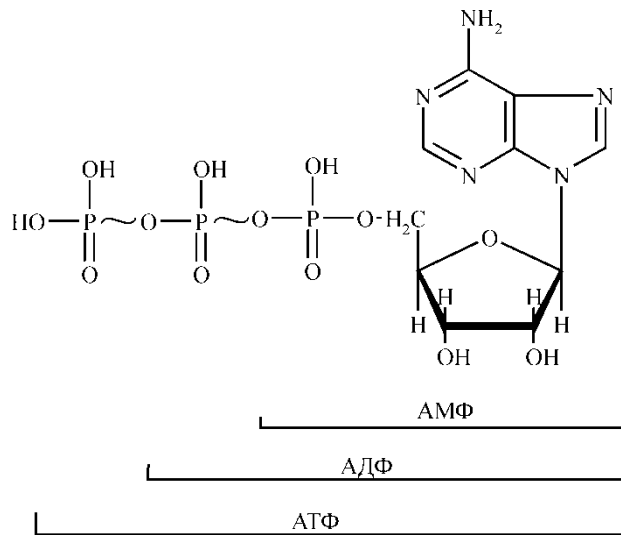
монофосфат

Дезоксицитидилова

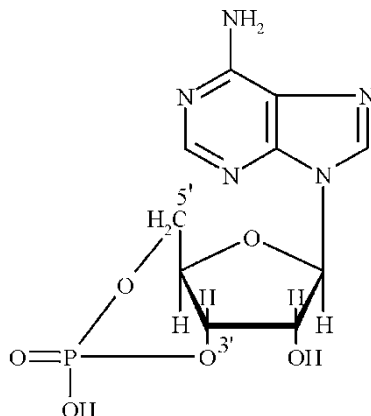
кислота

(дЦМФ)

До нуклеозидмонофосфатів може приєднуватися за допомогою фосфоангідридного зв'язку ще один або два залишки фосфорної кислоти. При цьому утворюються нуклеозидди- та нуклеозидтрифосфати:



Окрім зазначених нуклеотидів відомі нуклеотиди, у яких фосфорна кислота одночасно етерифікує (зв'язує) дві гідроксильні групи пентозного залишку, утворюючи циклофосфати:



Аденозин 3', 5'-цикломонофосфат (цАМФ)

Практично в усіх клітинах є присутніми два циклічних нуклеотиди – цАМФ і цГМФ. Циклічні нуклеотиди є найважливішими регуляторами внутрішньоклітинних процесів.

### Будова полінуклеотидного ланцюга

Нуклеїнові кислоти являють собою полінуклеотиди, побудовані з мономерів – нуклеотидів, кількість яких варіюється від 7 десятків до сотень мільйонів (продукт поліконденсації).

Роль містка між нуклеотидами виконує *3',5'-фосфодиефірний зв'язок*, з'єднуючий С-3'-D-рибози (або 3'-дезоксирибози) одного нуклеотиду з С-5'

другого. У зв'язку з цим полінуклеотидний ланцюг має певний напрямок: на одному його кінці (початок ланцюга) залишається вільною 5'-ОН, на іншому – 3'-ОН група (кінець ланцюга). Тому кінці лінійного (нерозгалуженого) полінуклеотидного ланцюга позначають: 5'-кінець (ліворуч) і 3'-кінець (праворуч), оскільки написання ланцюга починають з 5'-кінця. У цьому випадку загальний напрямок утворення фосфодієфірних зв'язків у ланцюгу позначається 5'→3'. На 5'-кінці знаходиться фосфатна група у складі першого нуклеотиду, тому такий кінець позначають літерою «Р» (фосфор) або «Ф». На іншому кінці в пентозному залишку зберігається вільна гідроксильна група в С-3', і тому цей кінець ланцюга ще позначають як 3'-ОН-кінець (рис. 35).

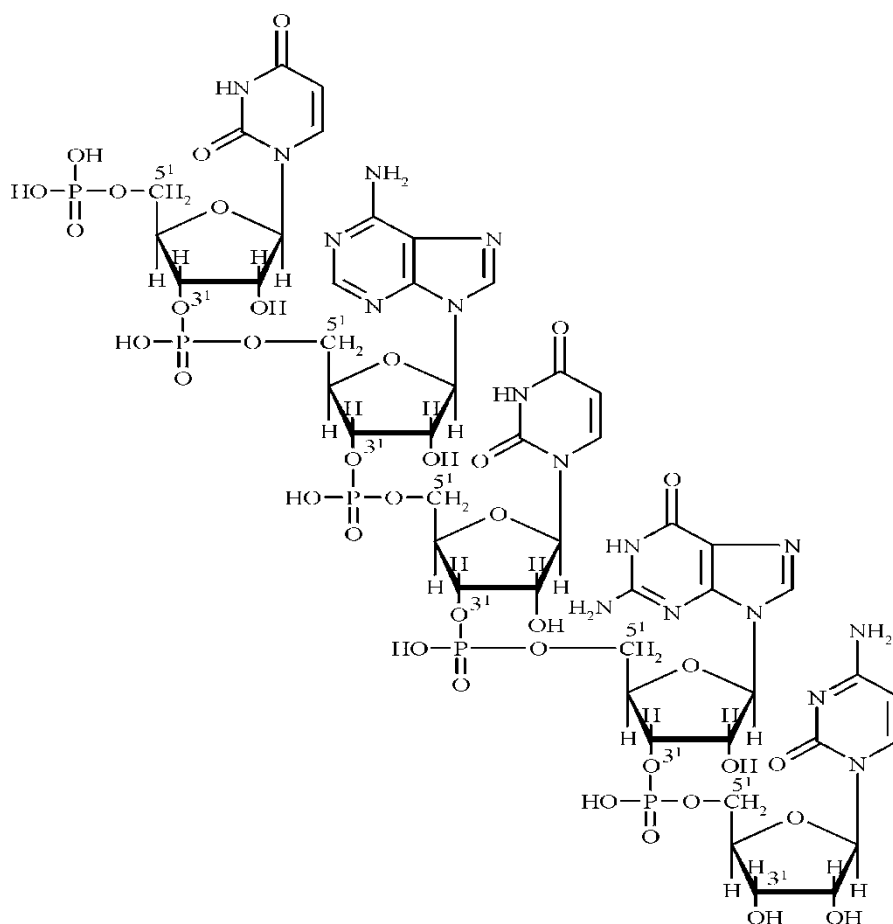


Рис. 35. Графічне зображення пентануклеотиду РНК

### Дезоксирибонуклеїнові кислоти (ДНК)

ДНК, як і білки, мають первинну, вторинну і третинну структури.

**Первинна структура ДНК** – кількість, якість і порядок розташування залишків дезоксирибонуклеотидів у полінуклеотидному ланцюзі.

Великих успіхів у вивченні структури ДНК досягли Е.Чаргафф і співробітники його лабораторії (Англія), які, використовуючи метод хроматографії, вперше в 1950 р. визначили нуклеотидний склад ДНК, виділеної з різних організмів. Вони встановили, що співвідношення азотистих основ у ДНК підпорядковується універсальним закономірностям, які одержали назву правил Чаргаффа:

1. Сума пуринових (Пур) нуклеотидів дорівнює сумі піримідинових (Пір) нуклеотидів ( $\Sigma\text{Пур} = \Sigma\text{Пір}$ , або  $\text{Пур}/\text{Пір} = 1$ ).

2. Молярний вміст гуаніну дорівнює молярному вмісту цитозину ( $G = C$ , або  $G/C = 1$ ).

3. Молярний вміст аденіну дорівнює молярному вмісту тиміну ( $A = T$ , або  $A/T = 1$ ).

4. Кількість аденіну і цитозину дорівнює кількості гуаніну і тиміну.

5. У ДНК, виділених з різних джерел (співвідношення нуклеотидів неоднакове): в одних організмів переважає вміст аденіну над гуаніном, тиміну над цитозином, а в інших – навпаки. У зв'язку з цим Е.Чаргафф запропонував положення про видову специфічність ДНК залежно від нуклеотидного складу.

**Вторинна структура ДНК** – це просторова організація полінуклеотидних ланцюгів в її молекулі. З'ясування вторинної структури ДНК – одне з найважливіших досягнень у біології, оскільки при цьому одночасно було відкрито механізм передачі спадкової інформації в ряді поколінь.

Молекула ДНК складається із двох полінуклеотидних ланцюгів, правозакручених навколо спільної осі з утворенням подвійної спіралі. Ці два полінуклеотидних ланцюги обвивають один одного, утворюючи праву спіраль, де вуглеводно-фосфатні групи розташовуються ззовні, а нуклеотидні основи – всередині (рис. 36).

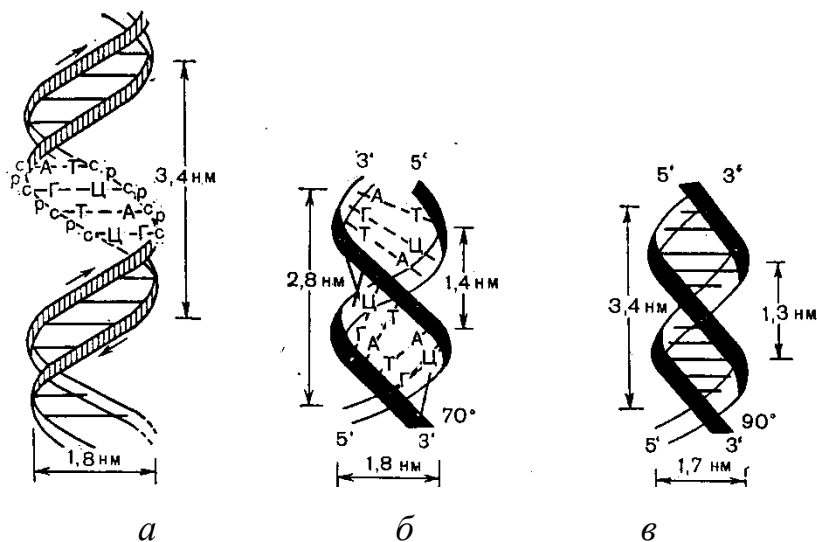
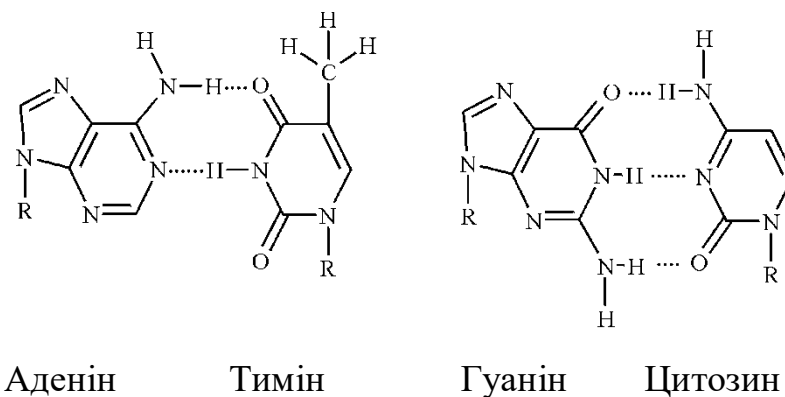


Рис. 36. Схематичне зображення подвійної спіралі ДНК: а – за Дж. Уотсоном і Ф. Кріком; б – А-форма ДНК, в – В-форма ДНК; с – залишок дезоксирибози; р – залишок фосфornoї кислоти.

На кожен виток спіралі припадає 10 пар основ. Азотисті основи двох ланцюгів вибірково з'єднуються між собою водневими зв'язками, утворюючи специфічні пари: А-Т, Г-Ц. Аденін та тимін з'єднуються двома водневими зв'язками, а гуанін та цитозин – трьома:



Такі азотисті основи називаються комплементарними. Специфічне спарювання азотистих основ зумовлює *комплементарність*, тобто доповнюваність і взаємозалежність ланцюгів ДНК один від одного.

Так, якщо в одному ланцюзі ДНК знаходиться послідовність АТГЦ, то в другому ланцюзі йому відповідає послідовність ТАЦГ.

Водневі зв'язки між комплементарними основами називають «поперечними» взаємодіями на відміну від «вертикальної» взаємодії між

площинами цих пар основ, розташованих одна над одною, ніби складених у стоси, звідси ще одна назва – *стекінг*-взаємодії (від англ. stacking – складання в стоси). Міжплощинні вертикальні взаємодії визначаються ван-дер-ваальсовими силами.

Ланцюги ДНК спрямовані *протилежно* одне одному: в одному ланцюзі напрямом  $5' \rightarrow 3'$ , в другому –  $3' \rightarrow 5'$ .

Подвійна спіраль характерна для більшості молекул ДНК. Однак ДНК може мати й інші форми. Так, деякі віруси містять одноланцюгову ДНК; зустрічаються також кільцеві форми ДНК (плазмід).

**Третинна структура ДНК.** Дослідження будови ДНК показало, що лінійні двоспіральні або кільцеві форми ДНК у просторі утворюють спіралізовані і суперспіралізовані форми, тобто утворюють третинні структури.

Третинна структура ДНК еукаріотичних клітин утворюється завдяки багаторазовій суперспіралізації молекули, однак, на відміну від прокаріотів, вона реалізується у формі комплексів ДНК з білками.

ДНК еукаріотів майже вся знаходиться в хромосомах ядер, лише невелика її кількість міститься в мітохондріях, а в рослин – ще й у пластидах. Сумарний матеріал хромосом – *хроматин* – містить ДНК, гістонові і негістонові білки, невелику кількість РНК та іонів металів.

В організації хромосом виділяють три рівні, які відображають і рівні третинної структури ДНК. Перший рівень – *нуклеосомний*. Диспергований хроматин виглядає в електронному мікроскопі як ланцюжок намистинок-нуклеосом. Нуклеосома містить ДНК довжиною 160–240 пар нуклеотидів, одну молекулу гістону H1 і по дві молекули інших груп гістонів (октет гістонів). Гістоновий октамер утворює ядро нуклеосоми, або нуклеосомний кор, який являє собою диск діаметром 11 і товщиною 5,7 нм. На поверхню цього диска намотується ділянка ДНК довжиною 145–150 нуклеотидних пар (рис. 37).

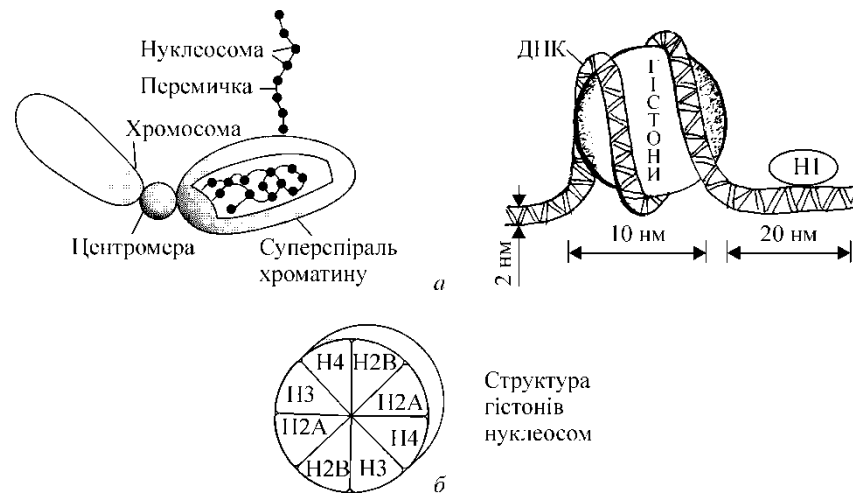


Рис. 37. Схематичне зображення нуклеосомної упаковки хромосоми

Другий рівень організації хромосом – це утворення із нуклеосомної нитки товстіших *фібрил* (20–25 нм). Вважають, що фібрили мають форму соленоїдів, які утворюються внаслідок скручування нуклеосомної нитки.

Третій рівень організації хромосом – соленоїди утворюють петлі, тобто додатково упаковуються, внаслідок чого зменшуються лінійні розміри ДНК приблизно в 200 разів. Суперспіралізовані петлі являють собою домени ДНК, які розцінюються як одиниці реплікації і транскрипції хроматину. Петлеподібна доменна організація сприяє укладці хроматину, при цьому лінійні розміри ДНК зменшуються в  $10^4$  разів.

### Рибонуклеїнові кислоти (РНК)

Якщо ДНК міститься головним чином у ядрах клітин, то РНК переважно знаходиться в цитоплазмі, у рибосомах. Загальна роль РНК полягає в безпосередній участі в біосинтезі білка. РНК, що містяться в клітині, відрізняються складом, розміром, функцією і локалізацією.

У цитоплазмі містяться кілька РНК: транспортна РНК (тРНК), матрична, або інформаційна (мРНК, або іРНК), рибосомна (рРНК).

**Транспортна РНК (тРНК).** На її частку припадає 10–15% від усієї РНК клітини. Це найбільш низькомолекулярні молекули РНК. Вони містять у собі від 75 до 90 нуклеотидів, М.м. = 23000–30000 дальтон.

тРНК беруть участь у процесі трансляції, тобто служать своєрідним перекладачем – перекладають послідовність нуклеотидів у послідовність амінокислотних залишків білкової молекули.

тРНК мають високу специфічність. Кожна  $\alpha$ -амінокислота має свою тРНК. Чисельність тРНК перевищує чисельність  $\alpha$ -амінокислот, які беруть участь у побудові білків. Це зумовлено тим, що деякі  $\alpha$ -амінокислоти транспортуються не однією, а декількома тРНК.

Молекули тРНК являють собою одиночний полінуклеотидний ланцюг 5'→3' із частковою спіралізацією. Усі тРНК побудовані за одним планом і описуються як модель «листка конюшини», який вміщує в основному 5 петель (стеблин). Структура типу «листок конюшини» пояснює характерну реакційну здатність нуклеотидних ланцюгів у різних ділянках тРНК (рис. 38). Акцепторна ділянка (1) певної тРНК приєднує до 3'-кінця полінуклеотидного ланцюга специфічну  $\alpha$ -амінокислоту, друга петля (2) забезпечує приєднання тРНК до ферменту, який забезпечує приєднання  $\alpha$ -амінокислоти до акцепторної ділянки тРНК, третя петля (3) містить так званий «антикодон» – ділянку, до складу якої входять три поряд розташовані нуклеотиди (триплет) і яка відповідає за приєднання до кодону мРНК. Тому, антикодон і кодон забезпечують специфічну взаємодію тРНК з мРНК. Існує петля (5), відповідальна за приєднання тРНК до рибосоми. Таким чином, тРНК з'єднує між собою всі ділянки, необхідні для біосинтезу білків.

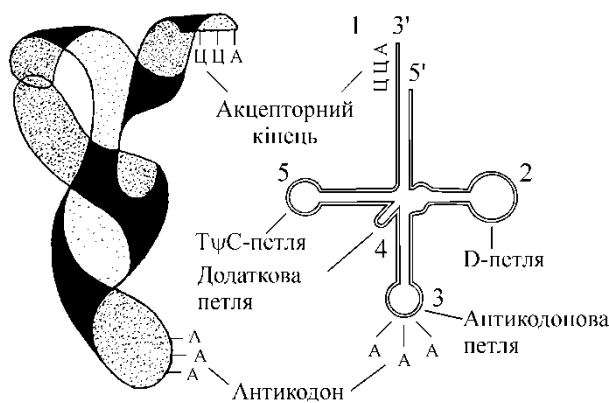


Рис. 38. Вторинна (праворуч) та третинна (ліворуч) структури тРНК



Транспортна РНК у своїй структурі має багато мінорних основ. Мінорні нуклеотиди містяться в основному в петлях. Вони не вступають у комплементарну взаємодію з іншими основами і тому перешкоджають утворенню подвійної спіралі і тим самим вносять свій внесок у формування певної просторової структури тРНК.

**Матрична РНК (мРНК).** Оскільки мРНК переносить відкопійовану з ділянки ДНК інформацію про первинну структуру білка, нерідко її називають інформаційною РНК (іРНК). Матрична РНК становить близько 2–6 % усієї клітинної РНК, її молекулярна маса варіюється від 300000 до 4000000 дальтон і складається з одного полінуклеотидного ланцюга, довжина якого залежить від поліпептидного ланцюга, який повинен синтезуватися на цій матриці.

**Рибосомна РНК (рРНК).** Рибосомна РНК є тією основою, на якій розташовуються білки, що утворюють рибосоми – найдрібніші внутрішньоклітинні структури, які містять близько 70 % рРНК. Звідси і походить її назва. Рибосоми беруть активну участь у біосинтезі білка. Вони локалізовані головним чином у цитоплазмі, а також можуть зустрічатися у мітохондріях і хлоропластах.

### Біологічна роль ДНК і РНК

Нуклеїнові кислоти виконують в організмі різні функції. Найважливіші з них – це участь у передачі спадкових ознак і в процесі біосинтезу білка та його регуляції. Основним носієм генетичної інформації для більшості організмів є ДНК. Виняток становлять тільки окремі фаги, віруси, у яких носієм спадкової інформації служить молекула РНК.

Генетична інформація, тобто інформація про синтез певних білків, записана (закодована) в нуклеотидній послідовності ДНК. Як уже зазначалося, одну амінокислоту кодує тринуклеотидна послідовність, тому код називається триплетним. Три нуклеотиди, що контролюють включення даної амінокислоти у відповідний білок у процесі його біосинтезу, називають **кодоном**.

Збереження нуклеотидної послідовності і точність її транскрипції є запорукою безпомилкової передачі спадкової інформації.

Виключне значення нуклеотидів не обмежується лише тим, що вони є будівельними матеріалами для нуклеїнових кислот. Нуклеотиди входять до складу небілкової частини (коферменту) ферментативних систем і беруть участь в обміні речовин. Важливу групу коферментів складають не тільки монофосфати (АМФ, ГМФ, ЦМФ та ін.), але і нуклеозидполіфосфати (АДФ, АТФ, ГДФ, ГТФ та ін.). У процесі обміну речовин в організмі як універсальне джерело й акумулятор енергії використовуються АТФ, ГТФ та ін. В окислювально-відновлювальних процесах беруть участь і багато інших коферментів, які мають нуклеотидну природу (НАД, ФАД і т. ін.).

## Завдання для самоперевірки

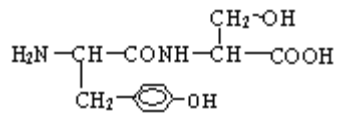
1. Амінокислотний склад білків. Класифікація, номенклатура та ізомерія амінокислот.
2. Сучасні уявлення про рівні структурної організації білків.
3. Первинна структура білкової молекули, визначення; зв'язки, що формують первинну структуру.
4. Вторинна структура білкової молекули; визначення, типи вторинної структури; зв'язки, що її стабілізують.
5. Третинна структура білкової молекули, зв'язки, що її стабілізують.
6. Четвертинна структура білкової молекули, визначення, зв'язки, що її стабілізують. Назвати білок еритроцитів, що має четвертинну структуру.
7. Методи виділення та очистки білків.
8. Розчинність білків; фактори, що впливають на їх розчинність. Ізоелектрична точка білків. Висолування: визначення; принцип; речовини, що викликають висолування; використання.
9. Електрофорез: визначення; принцип; властивість речовин, що лежить в основі даного методу; використання.
10. Діаліз: принцип; застосування.
11. Денатурація білка; фактори, що її викликають. Властивості денатурованих білків.
12. Методи кількісного визначення білків.
13. Класифікація білків. Прості білки.
14. Загальна характеристика та класифікація складних білків.
15. Хромопротеїни: будова, функції. Характеристика окремих представників.
16. Глікопротеїни: класифікація, будова, функції окремих представників.
17. Ліпопротеїни: класифікація, будова. Ліпопротеїни плазми крові.
18. Металопротеїни: загальна характеристика, представники.
19. Перелічити й охарактеризувати функції білків в організмі, навести приклади.

20. Вуглеводи, визначення, класифікація, представники, функції в організмі.
21. Пентози. Хімічна структура та біологічне значення рибози і дезоксирибози.
22. Гексози, їх ізомерія. Написати формули глюкози, фруктози, галактози в ациклічній і циклічній формах, дати назви.
23. Олігосахариди. Хімічна будова і природні джерела сахарози, лактози, мальтози.
24. Полісахариди. Хімічна характеристика та біологічна роль. Гомополісахариди, приклади. Написати формули фрагментів структури молекул крохмалю і целюлози. Яка сполука є кінцевим продуктом гідролізу крохмалю?
25. Ліпіди, визначення, класифікація, основні функції в організмі.
26. Загальна характеристика жирних кислот. Навести приклади жирних кислот, що входять до складу ліпідів організму людини. Залежність агрегатного стану ліпідів від їх жирнокислотного складу.
27. Які жирні кислоти є незамінними для людини? Який фармпрепарат містить незамінні жирні кислоти?
28. Триацилгліцероли. Структура, фізико-хімічні властивості, біологічна роль.
29. Стерини і стериди. Їх хімічна характеристика, біологічна роль, основні представники. Хімічна структура та біологічна роль холестеролу.
30. Жовчні кислоти: хімічна структура, основні функції в організмі; з якої сполуки синтезується.
31. Воски, хімічна характеристика, біологічна роль, застосування.
32. Фосфогліцериди. Характеристика їх основних класів, біологічна роль. Хімічна структура і функції фосфатидилхоліну і фосфатидилетаноламіну.

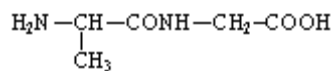
## Тестові завдання

1. При аналізі дипептида встановлено, що N-кінцевою  $\alpha$ -амінокислотою є тирозин, а С-кінцевою – серин. Виберіть серед наведених формулу дипептиду:

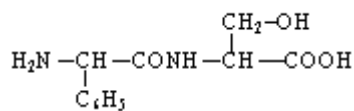
A



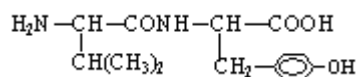
B



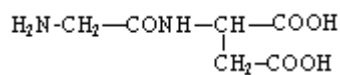
C



D



E



2. У фармацевтичній промисловості із біологічних рідин виділяють білки, які використовують як фармпрепарати при лікуванні. Вкажіть, який метод для цього використовують:

A Секвенція

B Денатурація

C Електрофорез

**D Висолювання**

E Діаліз

3. Донором метильної групи для метилювання лікарських речовин служить активна форма однієї із амінокислот. Виберіть її:

A Глутаміну

- B**    **Метіоніну**
- C    Глутамату
- D    Цистеїну
- E    Гліцину

4. При термічній обробці їжі відбуваються незворотні зміни просторової будови білка. Цей процес називається:

- A    Ренатурація
- B**    **Денатурація**
- C    Висолювання
- D    Діаліз
- E    Гідратація

5. Білки мають високий рівень просторової організації. Які зв'язки приймають участь у формуванні та стабілізації вторинної структури білкової макромолекули?

- A**    **Водневі**
- B    Ефірні
- C    Гідрофобні
- D    Іонні
- E    Сили Ван-дер-Ваальса

6. Основою структурної класифікації амінокислот є будова бокового радикалу. Яка з перелічених амінокислот відноситься до діаміномонокарбонівих?

- A**    **Лізин**
- B    Пролін
- C    Валін
- D    Лейцин
- E    Метионін

7. Одним з показників обміну речовин є рівень загального білка у сироватці крові. Кількісне визначення білка у клініко-біохімічних лабораторіях базується на:

- A **Біуретовій реакції**
- B Нінгідриновій реакції
- C Ксантопротеїновій реакції
- D Реакції Фоля
- E Нітропруссидній реакції

8. Укажіть принцип, який покладений в основу класифікації складних білків:

- A. Амінокислотний склад
- B. Розчинність
- C. Хімічна природа апопротеїну
- D. **Хімічна природа простетичної групи**
- E. Здатність до денатурації

9. Назвіть білки, які входять до складу дезоксирибонуклеопропротеїнів:

- A. Проламіни
- B. Глютеліни
- C. Глобуліни
- D. Альбуміни
- E. **Гістони**

10. Із наведеного списку виберіть складний білок - хромопротеїн:

- A. Вірус тютюнової мозаїки
- B. **Гемоглобін**
- C. Казеїноген
- D. Вітелін
- E. Іхтулін

11. Укажіть складний білок, який виконує захисну функцію проти вірусної інфекції і при пухлинних поразках:

- A. Феритин
- B. Глутатіон
- C. Глюкагон
- D. Інтерферон**
- E. Секретин

12. Ліпопротеїни – це складні білки, що входять до складу біологічних мембран і плазми крові. Укажіть основну функцію ліпопротеїнів плазми крові:

- A. Енергетична
- B. Пластична
- C. Транспортна**
- D. Регуляторна
- E. Каталітична

13. Виберіть із запропонованого списку фосфопротеїн:

- A. Каталаза
- B. Гемосидерин
- C. Трансферин
- D. Інтерферон
- E. Казеїноген**

14. Укажіть речовину, яка надає слині в'язкий слизовий характер, виконує захисну функцію та запобігає механічному пошкодженню слизової оболонки ротової порожнини?

- A. Муцин**
- B. Глюкоза
- C. Калікреїн
- D. Амілаза
- E. Лізоцим



15. У пробу з невідомим субстратом додали витяжку з дріжджів. Після 10 хвилинної інкубації суміш в пробірці дає позитивну реакцію Фелінга. Який субстрат був у пробірці?

- A Сахароза
- B Крохмаль
- C Глікоген
- D Лактоза
- E Целюлоза

16. Головним резервом глюкози в організмі людини і вищих тварин є певний полісахарид, який відкладається переважно у печінці та м'язах. Назвіть його.

- A Глікоген
- B Крохмаль
- C Целюлоза
- D Агар-агар
- E Інулін

17. Жировому переродженню печінки запобігають ліпотропні речовини. Які з нижчеперерахованих речовин відносяться до них:

- A Метіонін
- B Холестерин
- C Білірубін
- D Гліцин
- E Глюкоза

18. Ентеральний обмін ліпідів можливий лише за наявності цілої низки умов. Які з перелічених сполук впливають на процес емульгування жирів, активації ліпази, всмоктування жирних кислот?

- A Вуглеводи

- В Амінокислоти
- С Білірубін
- Д Жовчні кислоти**
- Е Холестерин

19. У хворого на атеросклероз 60-річного чоловіка спостерігається порушення функціонування плазматичних мембран за рахунок збільшення їх жорсткості, міцності. Збільшення рівня якого компоненту біомембран призводить до цього?

- А Холестерину**
- В Фосфатадилхоліну
- С Гліколіпідів
- Д Фосфатидилетаноламіну
- Е Білків

20. У шлунково-кишковому тракті відбувається перетравлення глікогену, що надійшов з їжею. Назвіть кінцевий продукт даного процесу:

- А. Галактоза
- В. Фруктоза
- С. Лактат
- Д. Глюкоза**
- Е. Лактоза

21. Яка з вказаних речовин відноситься до вуглеводів? Виберіть правильну відповідь.

- А. Ацетат натрію
- В. Сода
- С. Крохмаль**
- Д. Лимонна кислота
- Е. Ліпоєва кислота

22. Вкажіть мономери нуклеїнових кислот:
- A. Нуклеозиди
  - B. Нуклеотиди**
  - C. Азотисті основи
  - D. Амінокислоти
  - E. Мононуклеозид-5'-монофосфат
23. Вкажіть гетероциклічну сполуку, яка лежить в основі структури аденіну:
- A. Пурин**
  - B. Піримідин
  - C. Імідазол
  - D. Триптофан
  - E. Циклопентанпергідрофенантрени
24. Вкажіть азотисту основу - похідне піримідину:
- A. Аденін
  - B. Тимін**
  - C. Гуанін
  - D. Пиридоксин
  - E. Імідазол
25. Вкажіть азотисту основу, яка не входить до складу полінуклеотидного ланцюга РНК:
- A. Аденін
  - B. Гуанін
  - C. Цитозин
  - D. Урацил
  - E. Тимін**
26. Вкажіть структурний компонент, не характерний для ДНК:

- A. dAMФ
- B. dГМФ
- C. dЦМФ
- D. dТМФ
- E. dУМФ**

33. Вкажіть фактор, наявність якого в середовищі визначає таутомерну форму (лакто-лактимну) оксипохідних пурину і піримідину:

- A. Температура
- B. рН**
- C. Накопичення пуринів в клітці
- D. Накопичення урацилу клітці
- E. Накопичення АТФ в клітці

34. Вкажіть компонент, характерний для ДНК:

- A. АМФ
- B. ГМФ
- C. ЦМФ
- D. дТМФ**
- E. дУМФ

35. Вкажіть вуглевод, який входить до складу нуклеотидів, властивих РНК:

- A. β-D-рибофураноза**
- B. рафіноза
- C. β-D-фруктофуранози
- D. β-D-2-дезоксірибофураноза
- E. β-D-галактопіраноза

36. Вкажіть вуглевод, який входить до складу нуклеотидів ДНК:

- A. α-D-глюкопіраноз

- В.  $\beta$ -D-фруктофуранози
- С.  $\beta$ -D-рибофураноза
- Д.  $\beta$ -D-2-дезоксірибофураноза**
- Е. D-арабиноза

37. Вкажіть мінорну азотисту основу піримідинового ряду:

- А. Цитозин
- В. Урацил
- С. 5-Метилцітозін**
- Д. Тимин
- Е. Аденін

38. Вкажіть мінорну азотисту основу пуринового ряду:

- А. Аденін
- В. Гуанін
- С. Пурин
- Д. 1-Метилгуанін**
- Е. Урацил

39. Вкажіть нуклеотид:

- А. 2'-Дезоксігуанозин
- В. Аденілова кислота**
- С. Уридин
- Д. Аденозин
- Е. 2'-Дезоксцитідин

40. Вкажіть рибонуклеозидтрифосфат:

- А. ГТФ**
- В. АДФ
- С. цГМФ
- Д. цАМФ

Е. д-ГТФ

41. Вкажіть кількість пар азотистих основ, яка припадає на один виток подвійної спіралі ДНК (В-форма):

- А. 5
- В. 10
- С. 15
- Д. 20
- Е. 100

42. Вкажіть сполуку, комплементарну цитозину у вторинній структурі ДНК:

- А. Аденін
- В. Ксантин
- С. Гуанін**
- Д. Гіпоксантин
- Е. Метилурацил

43. Вкажіть сполуку, яка не може бути структурним компонентом м-РНК:

- А. Аденін
- В. Псевдоурідилова кислота
- С. Цитозин
- Д. Тимін**
- Е. Гуанін

44. Вкажіть тип зв'язку між фрагментами мононуклеотидів в полінуклеотидних ланцюгах:

- А. Йонні
- В. 3', 5' -Фосфодиефірні**
- С. Пірофосфатні

- D. Водневі
- E. Пептидні

45. Вкажіть рівень структурної організації молекули ДНК, в якому полінуклеотидні ланцюги утримуються (стабілізуються) водневими зв'язками:

- A. Первинний
- B. Вторинний**
- C. Третинний
- D. Четвертинний
- E. Суперспіраль

46. Виберіть спрямованість полінуклеотидних ланцюгів один щодо одного у вторинній структурі ДНК (В-форма):

- A. Паралельна
- B. Перпендикулярна
- C. Антипаралельна**
- D. Складчаста
- E. Переривчаста

47. Полінуклеотидний ланцюг м-РНК еукаріотичної клітини містить інформацію про:

- A. Первинну структуру всіх поліпептидних ланцюгів білка
- B. Первинну структуру одного поліпептидного ланцюга**
- C. Четвертинну структуру білка
- D. Первинну структуру ДНК
- E. Первинну структуру т-РНК

## Рекомендована література

### Основна

1. Біохімія : підручник / за ред. А. Л. Загайка, К. В. Александрової. – Харків : Форт, 2014. – 728 с.
2. Губський Ю. І. Біологічна хімія / Ю. І. Губський. - Київ-Тернопіль : Укрмедкнига, 2000. - 508 с.
3. Губський Ю. І. Біоорганічна хімія / Ю. І. Губський. – Вінниця : НОВА КНИГА, 2004. - 464 с.
4. Органічна хімія: підруч. для студ. вищ. навч. зают. / За заг. ред. В.П. Черних. – 2-ге вид., випр. і доп. – Х: Вид-во НФаУ; Оригінал, 2008. – 752 с.
5. Практикум з біологічної хімії / за ред. О. Я. Склярова. - К.: Здоров'я, 2002. - 298с.

### Додаткова:

1. Біологічна хімія: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Вороніна Л. М. [та ін.] – Харків: Основа, 2000. – 678с.
2. Біохімічні показники в нормі і при патології: довід. для студ. вищ. мед. навч. закл. IV рівня акредитації / Д. П. Бойків, Т. І. Бондарчук, О. Л. Іванків [та ін.]; за ред. О. Я. Склярова. - К.: Медицина, 2007. - 318 с.
3. Мардашко О. О. Біологічна та біоорганічна хімія: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / О. О. Мардашко, Н. Є. Ясиненко. - Одеса, ОДМУ, 2008. - 342 с.
4. Біологічна хімія з біохімічними методами дослідження: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Скляров О. Я. [та ін.].- К. : Медицина, 2009. – 352 с.
5. Методичні рекомендації для підготовки до складання ліцензійних інтегрованих іспитів «Крок 1», «Крок 2», «Крок 3» для студентів, лікарів-інтернів та викладачів // За редакцією чл.-кор. НАМН України, професора Б. С. Зіменковського - Львів, 2013. - 15 с.
6. Тарасенко Л. М. Збірник тестових завдань з біологічної хімії для підготовки до ліцензійного іспиту “Крок-1” / Л. М. Тарасенко, К. С Непорада., Л. Г. Нетюхайло. - Полтава, 2006. - 104с.



7. Білки та ферменти [Електронний ресурс] : зб. задач, вправ та тестових завдань з дисципліни "Біологічна хімія" для самостійної аудиторної та позааудиторної роботи студентів 2 курсу мед. ф-тів спеціальності "Лікувальна справа" / К. В. Александрова, С. В. Левіч, О. Б. Макоїд, Д. М. Сінченко, Є. К. Михальченко. – Запоріжжя : ЗДМУ, 2017. – 89 с. – Електронні текст. данні (1 файл: 1,04 МБ). - Назва з екрану.