**Лекція 6**

**Тема 2. Біосинтез білку.**

1. Його основні етапи.
2. Генетичний код.
3. Полісоми.
4. Процес трансляції на рибосомах.
5. Посттрансляційні перетворення білків.
6. Організація геному у прокаріот та еукаріот.
7. **Біосинтез білку. Його основні етапи.**

**Біоси́нтез** (або просто синтез) **білкі́в** — процес, за допомогою якого [клітини](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B0_%28%D0%B1%D1%96%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F%29) будують [білки](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%96%D0%BB%D0%BE%D0%BA). Термін інколи використовується для посилання винятково на процес [трансляції](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BB%D1%8F%D1%86%D1%96%D1%8F_%28%D0%B1%D1%96%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F%29), але частіше означає багатокроковий процес, що охоплює [біосинтез амінокислот](https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%91%D1%96%D0%BE%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7_%D0%B0%D0%BC%D1%96%D0%BD%D0%BE%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%82&action=edit&redlink=1), [транскрипцію](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BA%D1%80%D0%B8%D0%BF%D1%86%D1%96%D1%8F_%28%D0%B1%D1%96%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F%29), [процесинг](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B3) (в тому числі [сплайсинг](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%B9%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B3)), [трансляцію](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BB%D1%8F%D1%86%D1%96%D1%8F_%28%D0%B1%D1%96%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F%29) та [посттрансляційну модифікацію](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BB%D1%8F%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B0_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F) білків. Біосинтез білків, хоча й дуже подібний, дещо відрізняється між представниками трьох [доменів](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD_%28%D0%B1%D1%96%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F%29) життя — [еукаріотами](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D1%83%D0%BA%D0%B0%D1%80%D1%96%D0%BE%D1%82%D0%B8), [археями](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B5%D1%97) та [бактеріями](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D1%97).

Під час транскрипції відбувається зчитування [генетичної інформації](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F), зашифрованої в молекулах [ДНК](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%9D%D0%9A), і запис цих даних в молекули [мРНК](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%A0%D0%9D%D0%9A). Під час низки послідовних стадій [процесингу](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B3_%D0%A0%D0%9D%D0%9A) з мРНК видаляються деякі фрагменти, непотрібні в подальших стадіях ([сплайсинг](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%B9%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B3%22%20%5Co%20%22%D0%A1%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%B9%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B3)), і відбувається [редагування нуклеотидних послідовностей](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D0%B3%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%A0%D0%9D%D0%9A). Після [транспортування](https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%AF%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82&action=edit&redlink=1) зрілої молекули мРНК з [ядра](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%B5_%D1%8F%D0%B4%D1%80%D0%BE) до [рибосом](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%BC%D0%B0) відбувається власне синтез білкових молекул, шляхом приєднання окремих [амінокислотних](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D1%96%D0%BD%D0%BE%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0) залишків до поліпептидного ланцюжка, що росте. На останній стадії [посттрансляційної модифікації](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BB%D1%8F%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B0_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F) відбуваються зміни новосинтезованого білка додаванням небілкових молекул до білка та ковалентними модифікаціями його амінокислот.

**Біосинтез білка проходить у 4 етапи:**

**І етап.** Транспірація - передача інформації про структуру білка з молекули ДНК на і-РНК. Цей процес здійснюється з участю спеціальних ферментів і відбувається так: подвійний ланцюг на певному відрізку роз'єднується і вздовж одного з ланцюгів ДНК починається синтез молекули і-РНК за принципом комплементарності. Певна ділянка ДНК (ген) є матрицею для відповідної і-РНК. і-РНК після транскрипції зазнають процесу сплайсінгу - з новоутвореної і-РНК вирізаються неінформаційні фрагменти - інтрони і зшиваються інформаційні ділянки - інтрони.

Екзони - послідовність нуклеотидів у генах, що кодують синтез білка (інформативна ділянка). Інтрони - послідовність нуклеотидів ДНК, що не кодують синтез білка (неінформативна ділянка). Спейсери - частина ДНК, що взагалі не несе генетичної інформації.

Синтезовані молекули і-РНК переходять із ядра в цитоплазму, а ДНК відновлює свою структуру.

ІІ етап. Активація амінокислот. Цей процес відбувається в цитоплазмі. Активовані молекули амінокислот з'єднуються з молекулами транспортних РНК, кожній з 20 амінокислот відповідає певна т-РНК. У молекулі т-РНК є дві важливі ділянки: до однієї з них прикріплюється відповідна амінокислота, а інша містить триплет нуклеотидів, який відповідає коду даної амінокислоти в молекулі і-РНК. Активовані амінокислоти, сполучені з т-РНК надходять до рибосом.

ІІІ етап. Трансляція - синтез поліпептидних ланцюгів. Відбувається так: молекула і-РНК рухається між двома субодиницями рибосом і до неї послідовно приєднуються молекули т-РНК з амінокислотами. При цьому за принципом комплементарності кодони і-РНК вступають у зв'язок з антикодонами т-РНК. Послідовність розташування амінокислот при цьому визначається порядком чергування триплетів у молекулі і-РНК. Амінокислоти утворюють пептидні зв'язки за рахунок енергії АТФ і в результаті з рибосоми сходить поліпептидний ланцюг.

ІV етап. Термінація - утворення вторинної і третинної структур білкової молекули. Цей етап здійснюється в цитоплазмі шляхом скручування, згортання поліпептидного ланцюга.

Для синтезу білка необхідно:

• енергія (у вигляді АТФ у мітохондріях).

• відповідні ферменти.

• інформація про структуру білка (у ДНК, а потім в і-РНК).

• амінокислоти і відповідні їм т-РНК.

• рибосоми.

Молекули білка синтезуються у клітині впродовж 1-2 с. Синтез білків у клітині відбувається в інтерфазі - період між її поділом.

1. **Генетичний код.**

**Генети́чний код**  — певна відповідність між послідовністю нуклеотидів в молекулі ДНК (мРНК) і послідовністю амінокислот в молекулі білка, яка нею кодується. Ця система правил розташування [нуклеотидів](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%B4%22%20%5Co%20%22%D0%9D%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%B4) в молекулах [нуклеїнових кислот](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%97%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%96_%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B8) ([ДНК](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D0%BD%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%97%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0%22%20%5Co%20%22%D0%94%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D0%BD%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%97%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0) і [РНК](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%9D%D0%9A)) надає всім живим організмам можливість [кодування](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F) [амінокислотної](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D1%96%D0%BD%D0%BE%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0) послідовності [білків](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%96%D0%BB%D0%BE%D0%BA) за допомогою послідовності нуклеотидів.

У ДНК використовується чотири нуклеотиди — [аденін](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%96%D0%BD) (А), [гуанін](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%83%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%BD) (G), [цитозин](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D0%BD) (С) і [тимін](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B8%D0%BC%D1%96%D0%BD) (T), які в україномовній літературі також часто позначаються літерами А, Г, Ц і Т відповідно. Ці букви складають [«алфавіт»](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%84%D0%B0%D0%B2%D1%96%D1%82) генетичного [коду](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%B4). У РНК використовуються ті ж нуклеотиди, за винятком тиміну, який замінений схожим нуклеотидом, — [урацилом](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BB), який позначається буквою U (або У в україномовній літературі). У молекулах ДНК і РНК нуклеотиди складають ланцюжки і, таким чином, інформація закодована у вигляді послідовності генетичних «букв».



Генетичний код



Комплементарні нуклеотиди

Для синтезу білків у природі використовуються 20 різних [амінокислот](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D1%96%D0%BD%D0%BE%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B8). Кожен білок є ланцюжком або декількома ланцюжками амінокислот в строго певній послідовності. Ця послідовність називається первинною структурою білка, що також значною мірою визначає всю будову білка, а отже і його біологічні властивості. Набір амінокислот також універсальний для переважної більшості живих організмів.

[Експресія генів](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BA%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%96%D1%8F_%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D1%96%D0%B2) або реалізація генетичної інформації у живих клітинах (зокрема [синтез білка](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%96%D0%BE%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7_%D0%B1%D1%96%D0%BB%D0%BA%D1%96%D0%B2), що кодується [геном](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BD)) здійснюється за допомогою двох основних матричних процесів: [транскрипції](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BA%D1%80%D0%B8%D0%BF%D1%86%D1%96%D1%8F_%28%D0%B1%D1%96%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F%29) (тобто синтезу [мРНК](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%A0%D0%9D%D0%9A) на матриці ДНК) і [трансляції](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BB%D1%8F%D1%86%D1%96%D1%8F_%28%D0%B1%D1%96%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F%29) генетичного коду в амінокислотну послідовність (синтез поліпептідного ланцюжка на матриці мРНК). Для кодування 20 амінокислот, а також стоп-сигналу, що означає кінець білкової послідовності, достатньо трьох послідовних нуклеотидів. Набір з трьох нуклеотидів називається [кодоном](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BD). Прийняті скорочення, що відповідають амінокислотам і кодонам, зображені на малюнку.

1. **Полісоми.**

Полісоми дозволяють збільшити виробництво білків з тих месенджерів, які підлягають одночасному перекладу кількома рибосомами. Полісоми також беруть участь у процесах ко-трансляційного згортання та придбання четвертинних структур за допомогою нових синтезованих білків.



Полісоми, разом з так званими Р-органами і стрес-гранулами, контролюють долю і функцію месенджерів в еукаріотичних клітинах.

Полісоми спостерігалися як в прокариотических, так і в эукариотических клітинах. Це означає, що цей вид макромолекулярного утворення має довгу історію в клітинному світі. Полісома може бути утворена щонайменше двома рибосомами на одному і тому ж месенджері, але в цілому вони є більш ніж двома.

Загальна характеристика

Рибосоми всіх живих істот складаються з двох субодиниць: невеликої субодиниці і великої субодиниці. Невелика субодиниця рибосом відповідальна за читання посланної РНК.

Велика субодиниця відповідає за лінійне додавання амінокислот до зароджується пептиду. Активна трансляційна одиниця є такою, в якій мРНК здатна набирати і дозволяти збирання рибосом. Після цього триплетні зчитування в месенджері і взаємодія з відповідною зарядженою тРНК протікають послідовно.

Рибосоми є робочими блоками полісом. Фактично обидва способи перекладу посланника можуть співіснувати в одній клітці. Якщо всі компоненти, що складають поступальний апарат клітини, очищені, то знайдемо чотири основні фракції:

* Перший був би сформований мРНК, пов'язаними з білками, з якими утворюються репортерні рибонуклеопротеины. Тобто посланці самі.
* Друга, за допомогою рибосомальних субодиниць, що відокремлюється, досі не перекладається на жодного посланця
* Третій - моносом. Тобто "вільні" рибосоми пов'язані з деякою мРНК.
* Нарешті, найважчою фракцією буде полісом. Це той, який фактично виконує більшу частину процесу перекладу

Полісоми утворюються на активних трансляційних одиницях (спочатку моносоми) з послідовним додаванням інших рибосом на одній і тій же мРНК.

1. **Процес трансляції на рибосомах.**

**ТРАНСЛЯЦІЯ**(лат. translatio — передача, переміщення) — процес біосинтезу білка, тобто другий етап реалізації генетичної інформації, який полягає в переведенні нуклеотидної послідовності матричної РНК (мРНК) в амінокислотну послідовність білка, тобто відбувається переклад інформації з «мови» нуклеотидної послідовності мРНК на «мову» амінокислотної послідовності білка. Оскільки з 4 видів нуклеотидів можна отримати 64 (43) різних комбінації по 3 нуклеотиди, було зроблено висновок (Г. Гамов, 1954 р.) про існування щонайменше 64 «кодових слів» для 20 амінокислот. Такий спосіб записування генетичної інформації одержав назву генетичного коду, який був повністю розшифрований у 60-х роках ХХ ст. М. Ніренбергом, Г. Маттеї, Г. Кораною та ін. Було встановлено, що з 64 комбінацій нуклеотидів 61 кодон є змістовним (визначає включення до складу білка певної амінокислоти), а 3 кодони — беззмістовні (не кодують жодної з амінокислот). Ці нонсенс-кодони (УАА, УАГ, УГА) виконують роль сигналів термінації Т. Нуклеотидна послідовність молекули мРНК містить кодони для кожної амінокислоти. Адапторами транслюючих послідовностей кодонів в амінокислотну послідовність білка є молекули транспортних РНК (тРНК), що визначається їх структурою. У складі молекул тРНК є 3′-кінець, що зв’язується з амінокислотою, і антикодон — ділянка з 3 нуклеотидів, яка розпізнає в мРНК триплет, що кодує цю амінокислоту. Передача інформації під час Т. здійснюється за матричним механізмом, і роль безпосередньої матриці при цьому виконує молекула мРНК. У молекулі мРНК містяться триплети (кодони), у нуклеотидній послідовності яких закодована інформація про первинну структуру поліпептидного ланцюга, одержана мРНК від ДНК при транскрипції. Процес синтезу білка — найбільш складний із біосинтетичних процесів: в еукаріотичних клітинах у ньому беруть участь понад 70 різних рибосомних білків; не менше 20 ферментів, необхідних для активації амінокислот, більше 10 білкових факторів ініціації, елонгації й термінації синтезу поліпептидних ланцюгів, не менше 100 додаткових ферментів, які беруть участь у посттрансляційних модифікаціях білків, понад 70 видів транспортних і рибосомних РНК (рРНК). Синтез білка відбувається в декілька основних етапів. Першим етапом є активація й відбір амінокислот. На цьому етапі, що відбувається в цитозолі клітин, кожна з 20 амінокислот ковалентно приєднується до відповідної тРНК за допомогою ферменту аміноацил-тРНК-синтетази з утворенням аміноацил-тРНК. Після активації молекули аміноацил-тРНК дифундують до рибосом, на яких проходить біосинтез білка. У процесі Т. розрізняють 3 основні етапи: ініціацію (початок синтезу поліпептидного ланцюга), елонгацію (його подовження) і термінацію (завершення синтезу). Для ініціації синтезу білка в еукаріотів необхідна наявність 40S- та 60S-субодиниць рибосоми, мРНК, факторів ініціації (eIF-1, eIF-2, eIF-3 тощо — всього відомо до десяти факторів ініціації), ініціюючої аміноацил-тРНК (в еукаріотів — метионін-тРНК, або мет-тРНК, у прокаріотів — N-формілметіонін-тРНК), ГТФ і АТФ як джерел енергії. У процесі ініціації відбувається утворення ініціюючого комплексу. На цьому етапі 40S-субодиниця рибосоми з’єднується з фактором ініціації, що перешкоджає її зв’язуванню з 60S-субодиницею, але стимулює об’єднання з потрійним комплексом, до якого входять: мет-тРНК, eIF-2 і ГТФ. Потім цей ще складніший комплекс зв’язується з 5′-кінцем мРНК за участю декількох eIF. Приєднавшись до мРНК, 40S-субодиниця пересувається по некодуючій частині мРНК, доки не досягне ініціюючого кодону АУГ, який відповідає ініціюючій амінокислоті метіоніну. Цей процес супроводжується гідролізом АТФ. Досягнувши початку кодуючої послідовності мРНК, 40S-субодиниця зупиняється і зв’язується з іншими факторами ініціації, які прискорюють приєднання 60S-субодиниці й утворення 80S рибосоми за рахунок енергії гідролізу ГТФ. При цьому формуються А- і Р-центри рибосоми; у Р-центрі знаходиться АУГ-кодон мРНК, до якого приєднана мет-тРНК, а в А-центрі — триплет, який кодує включення другої амінокислоти до білка, що синтезується. Далі починається найтриваліший етап білкового синтезу — елонгація. На цьому етапі поліпептидний ланцюг подовжується за рахунок послідовного ковалентного приєднання амінокислот, кожна з яких доставляється до рибосоми і вбудовується в певне положення за допомогою відповідної тРНК, яка утворює комплементарні пари з відповідним їй кодоном у мРНК. Включення амінокислоти в білок відбувається протягом трьох стадій: перша стадія — зв’язування аміноацил-тРНК кожної амінокислоти, що входить до білка з А-центром рибосоми (рисунок); друга — стадія транспептидації, в якій спочатку метіонін, а далі пептид, які знаходяться в Р-центрі, приєднуються до α-NH2-групи аміноацильного залишку аміноацил-тРНК А-центру з утворенням пептидного зв’язку.

1. **Посттрансляційні перетворення білків.**

**Посттрансляці́йна модифіка́ція**, **ПТМ** ([англ.](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D1%96%D0%B9%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0_%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B0) Posttranslational modification, PTM)  — хімічна модифікація [білка](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%96%D0%BB%D0%BE%D0%BA) після його [трансляції](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BB%D1%8F%D1%86%D1%96%D1%8F_%28%D0%B1%D1%96%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F%29). Це одна з останніх стадій процесу [біосинтезу білків](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%96%D0%BE%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7_%D0%B1%D1%96%D0%BB%D0%BA%D1%96%D0%B2) для більшості білків.

Білок (або субодиниця [білкового комплексу](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%96%D0%BB%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81)) є поліпептідним ланцюжком, що складається з [амінокислот](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D1%96%D0%BD%D0%BE%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0). В процесі синтезу 20 амінокислот можуть бути включені до його складу (у випадку окремих організмів ще дві). Посттрансляційна модифікація розширює функціональний склад білка за допомогою додаткового приєднання таких груп як [ацетатна](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%86%D0%B5%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8) (ацетилювання) або [фосфатна](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B0%D1%82%D0%B8) ([фосфорилювання](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BB%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%22%20%5Co%20%22%D0%A4%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BB%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F)), а також [цукрів](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D1%83%D0%BA%D1%80%D0%B8) (глікозилювання) і [ліпідів](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%96%D0%BF%D1%96%D0%B4%D0%B8). Посттрансляційна модифікація може також включати зміну хімічної природи амінокислоти (наприклад, трансформацію залишку [аргініну](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D0%B3%D1%96%D0%BD%D1%96%D0%BD) в [цитрулін](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B8%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BB%D1%96%D0%BD)) або утворення [дисульфідних зв'язків](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%84%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B7%D0%B2%27%D1%8F%D0%B7%D0%BE%D0%BA) у білку. Спостерігається також [метилювання](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BB%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F) аргінінових або [лізинових](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BD) амінокислотних залишків білка, наприклад [гістонових](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%96%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B8) [ядерних](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%B5_%D1%8F%D0%B4%D1%80%D0%BE) білків.

Специфічні [пептидази](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%B4%D0%B0%D0%B7%D0%B0) можуть відщеплювати невеликі фрагменти білка з N-термінального кінця або розрізати поліпептидний ланцюжок в середині. Наприклад, молекула [інсуліну](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BD%D1%81%D1%83%D0%BB%D1%96%D0%BD) після трансляції додатково видозмінюється утворенням внутрішньомолекулярного дисульфідного зв'язку, після чого певна ділянка вирізається з середини ланцюжа пропептиду, що перетворює проінсулін на активний інсулін. Процес такого вирізання називається [білковим сплайсінгом](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%96%D0%BB%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D1%81%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%B9%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B3).

### Фосфорилювання

Фосфорилювання є однією з найпоширеніших посттрансляційних модифікацій і використовується як механізм, що контролює поведінку багатьох білків (наприклад, активацію або інактивацію [ферментів](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82)).

### Убіквітинювання

При убіквітинуванні відбувається ковалентне додавання невеликого білку [убіквітину](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B1%D1%96%D0%BA%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%B8%D0%BD) до цільового білку. Убіквітин – дуже консервативний [білок](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%96%D0%BB%D0%BA%D0%B8), в якого лише три [амінокислоти](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D1%96%D0%BD%D0%BE%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0) з 76 змінюються між [ссавцями](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%81%D0%B0%D0%B2%D1%86%D1%96), [дріжджами](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%80%D1%96%D0%B6%D0%B4%D0%B6%D1%96) та [рослинами](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D1%81%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B8%22%20%5Co%20%22%D0%A0%D0%BE%D1%81%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B8) – присутній у всіх тканинах [еукаріотичних](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%96) організмів. Його додавання відбувається в три етапи завдяки різним групам [ферментів](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8): E1, E2 та E3. Убіквітинування слугує маркером, що відправляє клітинний білок на деградацію (руйнування). Раніше вважали що лише [протеасомний](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B0%D1%81%D0%BE%D0%BC%D0%B0) [протеоліз](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BE%D0%BB%D1%96%D0%B7) виконує деградацію білків, що помічені убіквітином. Але в останні роки стало відомо, що існує три шляхи убіквітин-залежного руйнування білків: протеасоми, [лізосоми](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%96%D0%B7%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%BC%D0%B0) та [аутофагосоми](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%83%D1%82%D0%BE%D1%84%D0%B0%D0%B3%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%BC%D0%B0).

1. **Організація геному у прокаріот та еукаріот.**

Гени розташовані у хромосомі по її довжині у лінійному порядку: один за одним. При цьому вони не перекриваються, тобто не накладаються один на одного.

Раніше вважали, що гени займають лише чітко визначене місце у складі молекули нуклеїнової кислоти. Але в 60-х роках XX ст. учені з'ясували, що фрагменти ДНК здатні переміщуватися з однієї ділянки на іншу Якщо такий фрагмент опиняється в кодуючій послідовності нуклеотидів певного гена, то цей ген втрачає свою функцію. Якщо ж такий «стрибаючий» ген опиняється поруч із іншим геном, то його функції можуть змінюватись. Отже, існують генетичні програми, які зумовлюють перебудову окремих ділянок молекули ДНК. Це урізноманітнює спадковий матеріал. Явище «стрибаючих» генів уперше виявив видатний український генетик Сергій Михайлович Гершензон.

Сукупність молекул ДНК, притаманних гаплоїдному набору хромосом, називають **геномом**. Сукупність генетичної інформації, закодованої в генах окремої диплоїдної чи поліплоїдної клітини або цілого організму, - **генотипом**.

Дослідження різних представників прокаріотів та еукаріотів показали, що кількість генів у них значно коливається. Пригадайте: клітини **прокаріотів** - археїв і бактерій - не мають сформованого ядра. їхній спадковий матеріал — кільцеподібна молекула ДНК — не відокремлена від цитоплазми мембранною оболонкою. Вона розташована у ядерній зоні цитоплазми — **нуклеоїді**.
ДНК кишкової палички, наприклад, складається з 4,6 мли пар нуклеотидів, кількість структурних генів — приблизно 4100, ще близько 120 генів кодують молекули РНК. Крім того, вона містить велику кількість регуляторних генів, що впливають на активність структурних. Середній розмір гена бактерій - близько 950 пар нуклеотидів.

Як ви знаєте, у цитоплазмі клітин багатьох бактерій одночасно із кільцевою молекулою ДНК містяться невеличкі кільцеві молекули ДНК. Це плазміди - позахромо-сомні фактори спадковості. Вони зазвичай містять гени, які підвищують стійкість бактерій до несприятливих чинників довкілля, зокрема до антибіотиків. Плазміди можуть передаватись від однієї клітини бактерій до іншої.
У прокаріотів генетичний матеріал має **оперонну** організацію.

Концепцію оперона запропонували в 1961 р. французькі вчені Франсуа Жакоб і Жак Моно, за що отримали Нобелівську премію (1965 р.).

**Оперон** (від лат. operor - працюю) - функціональна одиниця організації геному прокаріотів.

До складу оперона входять один або декілька структурних генів.

Ці гени відповідають за синтез білків, залучених до одного ланцюжка біохімічних перетворень . Так, лактозний оперон кишкової палички містить спадкову інформацію про три білки, що беруть участь у поглинанні та розщепленні лактози. Структурні гени прокаріотів не мають мозаїчної структури, тобто в їхньому складі немає розподілу на кодувальні (екзони) й некодувальні (інтрони) ділянки.


В еукаріотів значна частина геному представлена послідовностями ну­клеотидів, які не кодують структури молекул білків та РНК. Учені з’я­сували, що 20-50 % генів еукаріотів мають одну, інші - кілька зазвичай не ідентичних копій. Понад 50 % усієї кількості ДНК припадає на повто­ри. Завдяки копіям, мутації окремих генів мало впливають на фенотип. Повторювані послідовності нуклеотидів зосереджені переважно на кінцях хромосом і в зоні прикріплення ниток веретена поділу (центромера).
Генам еукаріотів, на відміну від генів прокаріотів, притаманний моза­їчний характер будови: кодуючі ділянки (**екзони**) чергуються з некодуючими (**інтронами**). Серед інтронів є ділянки, що здійснюють важливі регу­ляторні функції. Регуляторні ділянки є й у складі міжгенної ДНК. Обов’язковим етапом, необхідним для здійснення молекулою ІРНК своїх функцій, є процес сплайсингу: інтрони за участі відповідних ферментів вирізаються, а екзони зшиваються, утворюючи матрицю для синтезу біл­кової молекули.

У геномі людини близько 20 000-25 000 структурних генів (у птахів — до 30 000), ще понад 8000 генів кодують різноманітні молекули РНК (тРНК, рРНК тощо). Кількість ДНК у ядрі перевищує потрібну для кодування всіх структурних генів у 8-10 разів. Причини цього явища різні. По-перше, ДНК, розташована в ядрі еукаріотів, містить багато послідовностей, кожна з яких повторюється до сотень тисяч разів. По-друге, значна частина ДНК взагалі не несе генетичної інформації (некодуючі ділянки). Це, наприклад, послідовності нуклеотидів, які розділяють сусідні гени.
Клітини кожного виду еукаріотів мають свій особливий набір хромосом - каріотип. Сукупність генетичної інформації, закодованої в усіх генах певної клітини або цілісного організму, має назву «генотип». Сукупність молекул ДНК, притаманних гаплоїдному набору хромосом, називають «геномом».

Гени поділяють на структурні (кодують структуру білків і РНК) та регуляторні (впливають на активність структурних генів і беруть участь у процесах подвоєння ДНК і переписування спадкової інформації на молекули РНК). Структурні гени складаються з окремих блоків. Одні з них -екзони - копіюються в мРНК і несуть інформацію про структуру певних сполук, інші - інтрони - ні. З підвищенням рівня організації складність організації геному зазвичай підвищується.

З підвищенням рівня еволюційного розвитку розмір геному еукаріотів зростає переважно за рахунок саме некодуючих послідовностей. Так, гаплоїдний хромосомний набір нематоди містить близько 100 млн пар нуклеотидів, дрозофіли — 130 млн, курки — близько 1 млрд, ссавців
(і в людини також) — приблизно 3,3 млрд пар нуклеоти-дів. Між видами, що належать до близьких систематичних груп, спостерігають високий ступінь подібності геномних нуклеотидних послідовностей. Так, геноми людини та миші однакові на 80 %, людини та шимпанзе — майже на 99 %. Порівняльний аналіз геномів різних організмів є важливим методом сучасної систематики, він дає змогу встановлювати ступінь їхньої спорідненості.

Гени еукаріотів мають складнішу будову. По-перше, в структурній частині генів є ділянки, що кодують спадкову інформацію - екзони (від англ. expression - вираження), і ділянки, що її не кодують - інтрони (від англ. intervening sequence - проміжна послідовність). Кількість і розташування інтронів специфічні для кожного гена. Така будова структурних генів еукарітотів називається мозаїчною. Науковці вважають, це може бути механізмом, який обмежує мутаційний процес. При цьому інтрони виконують функцію «пасток» мутацій.