

## ВСТУП

### Предмет органічної хімії

**Органічна хімія** – це розділ хімічної науки, який вивчає сполуки вуглецю з іншими елементами. Особливо велику кількість сполук вуглець утворює з елементами **H, O, N, S, P**, галогенами, яких відносять до *елементів-органогенів*. Однак не всі сполуки вуглецю класифікуються як органічні, наприклад, **CO<sub>2</sub>, HCN, CS<sub>2</sub>** традиційно відносяться до неорганічних.

Органічних речовин відомо понад 100 млн, причому їхня кількість щорічно зростає на 250–300 тис., тоді як неорганічних нараховується близько 900 тис. Різноманітність органічних сполук пояснюється унікальною властивістю атомів вуглецю з'єднуватися один з одним простими або кратними зв'язками, утворюючи ланцюги з практично необмеженою кількістю атомів. Крім того, атоми вуглецю здатні утворювати міцні зв'язки майже зі всіма елементами періодичної системи.

Величезна кількість та різноманітність органічних сполук визначає органічну хімію як найбільший розділ сучасної хімії. Навколишній світ містить, головним чином, органічні сполуки: їжа, паливо, одяг, ліки, фарби, волокна, пластмаси та інші конструкційні матеріали, миючі засоби. Всі ці матеріали відносяться до органічних речовин. Виключно важливу роль відіграють органічні сполуки у процесах життєдіяльності людини, тварин та рослин.

### Короткий історичний огляд розвитку органічної хімії

Органічна хімія як наука виникла в кінці XVIII – на початку XIX ст. Терміни “органічна хімія” та “органічні речовини” запропонував шведський хімік **Єнс Якоб Берцеліус**. Він заперечував можливість одержання органічних речовин з неорганічних. Він вважав, що “та частина фізіології, що описує склад живих тіл хімічними процесами, які там відбуваються, має назву – органічна хімія”. Тобто, органічна хімія вивчає речовини



**Єнс Якоб Берцеліус** (1779–1848) – шведський хімік, професор хімії та фармакології. Його вважають одним із батьків хімії. Саме Якоб Берцеліус ввів терміни: “органічна хімія”, “алотропія”, “ізомерія”. Відкрив елементи церій, селен, торій; уперше отримав у вільному стані кремній, титан, тантал, цирконій; визначив атомну вагу 46 відомих на той час хімічних елементів і ввів для них літерні позначення. Уточнив і розвинув уявлення про атом. Відкриття Берцеліуса були настільки вражаючі, що у 30 років (1808) він став президентом Королівської Академії наук.

рослинного і тваринного походження (органічні речовини). Крім того, він стверджував, що утворення органічних речовин відбувається під впливом так званої “життєвої сили”. Теорія Берцеліуса акцентувала, що органічні речовини можна одержувати тільки з готових природних органічних матеріалів, які утворювалися за участю “життєвої сили”. Ця теорія не допускала можливості синтезу органічних речовин поза організмом рослин або тварин і одержала назву “віталізм” (від лат. *vita* – життя). Згідно з теорією “віталізму” розвиток живої і неживої матерії відбувається за різними законами.

Ідеалістичне вчення віталістів сповільнювало розвиток органічної хімії. Однак ціла низка експериментальних робіт, виконаних у першій половині XIX ст., довела помилковість основних положень “віталізму”. Так, німецький хімік Велер отримав з неорганічних речовин щавлеву кислоту (1824 р.) і сечовину (1828 р.). Потім російський вчений М. М. Зінін одержав синтетичним шляхом анілін (1842 р.), який раніше одержували з рослинної сировини. У 1845 р. німецький вчений Г. Кольбе синтезував ацетатну кислоту, а у 1854 р. француз М. Бертло – жири. В 1861 р. російський вчений О. М. Бутлеров одержав першу цукристу речовину.

Спочатку синтез органічних речовин хіміки здійснювали випадково, керуючись, здебільшого, інтуїцією. Органічна хімія у ці роки виглядала, за виразом Велера, “...дрімучим лісом, повним дивовижних речей, величезною хащею без виходу і кінця, куди не насмілишся увійти”.

Успіхи органічного синтезу спричинили появу цілої низки різноманітних теорій, які задовільно пояснювали результати експерименту і відкривали можливості для пізнання будови органічних сполук. Серед них великий внесок у розвиток теоретичних основ органічної хімії зробили теорія радикалів та теорія типів.

**Теорія радикалів.** Автори теорії Дюма, Лібіх, Берцеліус розглядали радикали, як незмінні групи атомів у хімічних реакціях. Наприклад, радикал бензоїл  $C_6H_5C(O)-$  – є загальним для бензальдегіду  $C_6H_5C(O)-H$ , бензоатної кислоти  $C_6H_5C(O)-OH$ , бензоїлхлориду  $C_6H_5C(O)-Cl$  та бензаміду  $C_6H_5C(O)-NH_2$ . Ці сполуки хімічно перетворюються одна в одну і, при цьому, радикал  $C_6H_5C(O)-$  не змінюється. Подальші дії показали, що в радикалах можна замінювати атоми водню іншими атомами. Так, М. Фарадей через взаємодію хлору та дихлоретану одержав гексахлоретан. Це спростувало теорію радикалів.

**Теорія типів.** Автори теорії Жирар, Дюма, Кольбе, Лоран та ін. вважали, що через дослідження неможливо визначити будову речовин. Органічні речовини можна класифікувати тільки за способом перетворень, в які вони вступають. При такій класифікації одна й та сама органічна речовина може відноситись до різних типів. Автори запропонували п'ять типів органічних сполук: тип

водню, тип хлороводню, тип води, тип аміаку, тип метану. Теорія типів надала можливість класифікувати об'ємний експериментальний матеріал, який накопичено в органічній хімії до середини XIX ст. Разом з тим, передбачити існування й показати шляхи синтезу невідомих органічних сполук ця теорія була неспроможна.

Теорію, яка пояснювала б особливості будови органічних речовин та давала можливість передбачити існування певних органічних речовин і здійснити їх синтез, створено та розвинено у працях Є. Франкланда, У. Олдінга, А. Кекуле, А. Купера, Г. Кольбе та О. Бутлерова. Так, Є. Франкланд і У. Олдінг ввели поняття валентності елементів, як їхню властивість приєднувати тільки певну кількість атомів інших елементів. А. Кекуле, А. Купер і Г. Кольбе сформулювали уявлення про чотирьохвалентність вуглецю в органічних сполуках. А. Кекуле і Г. Кольбе встановили, що атоми вуглецю можуть з'єднуватися між собою, утворюючи ланцюги будь-якої довжини. А. Купер запропонував сучасне написання структурних формул. Ці нароби дозволили О. М. Бутлерову в 1861 році сформулювати “структурну теорію будови органічних речовин”. Основні положення цієї теорії зводяться до наступного:

**1. Атоми в молекулах органічних речовин сполучені не безладно, а у певній послідовності, відповідно до їх валентності.**

**2. Природа органічної речовини визначається якісним та кількісним складом її молекул, а також хімічною будовою.**

**3. Хімічна будова – це певний порядок, у якому атоми сполучені між собою в молекулі органічної речовини.**

**4. Оскільки властивості речовини залежать від її будови, то, вивчаючи властивості, можна визначити будову речовини.**

**5. Речовини, що мають однаковий якісний і кількісний склад молекул, але різну будову і, як наслідок, різні властивості, – називають ізомерами.**

На основі своєї структурної теорії будови органічних речовин О. Бутлеров передбачив існування трьох ізомерів пентану ( $C_5H_{12}$ ) і синтезував їх.

У 70-х роках XIX століття “Структурна теорія будови органічних речовин” була доповнена теорією просторового розташування атомів у молекулі – стереохімічною теорією Я. Вант-Гоффа і Ж. Ле-Беля. Було сформульовано поняття про тетраедричну конфігурацію найпростіших органічних сполук та пояснено явище **оптичної ізомерії (енантіомерії)**.

Таким чином, до кінця XIX століття створення класичної теорії хімічної будови було завершено. Однак, залишилася нез'ясованою природа валентних сил, які зв'язують атоми в молекулі. Недослідженою у той час була і будова самого атома.

На початку XX століття були розвинені електронні уявлення про будову атомів і молекул, які дозволили пояснити поняття про валентність атомів, природу хімічних зв'язків та взаємозв'язок будови органічних речовин з їхньою

реакційною здатністю. Дж. Льюїс в 1916 р. запропонував правило октету, яке пояснило властивість атомів утворювати хімічні зв'язки. Він же запропонував розглядати узагальнення двох електронів від різних атомів як засіб утворення хімічного зв'язку. В подальшому І. Ленгмюр назвав такий зв'язок ковалентним. Це стало підґрунтям для створення сучасної квантово-механічної теорії будови атома та природи хімічного зв'язку, основи якої розглядатимуться в розд. 1.

## Формули органічних речовин

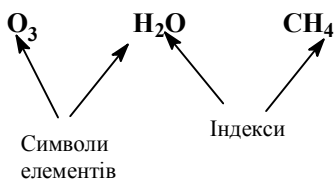
Відомо, що всі тіла складаються з окремих частинок – молекул і атомів. Молекулою називається найменша частинка речовини, що зберігає її хімічні властивості. Молекули складаються з атомів.

**Молекулою називається найменша частинка речовини, що зберігає її хімічні властивості. Молекула складається з атомів.**

В молекулі може бути один атом або декілька однакових чи різних атомів. Якщо молекула складається з одного атома, то для такої молекули поняття атома та молекули будуть тотожними. В молекулах атоми сполучені хімічними зв'язками.

**Кількість зв'язків, які утворює певний атом в молекулі, називається валентністю цього атома.** Значення валентності може приймати цілочисельні значення від 0 до 8.

Склад будь-якої речовини передає її хімічна формула. **Хімічною формулою називають умовний запис складу речовини за допомогою символів хімічних елементів та індексів.**

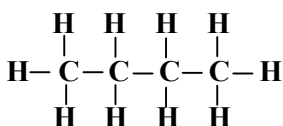


Індексом позначають число атомів кожного елемента, що входить до складу молекули. Якщо біля елемента знаходиться індекс один, його не вказують.

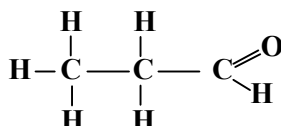
В наведених формулах “O” – символ елемента кисню, “H” – символ елемента водню, “C” – символ елемента вуглецю; 3, 2, 4 – індекси.

**Такі формули називаються брутто-формулами. Вони інформують: атоми яких елементів і в якій кількості входять до складу молекули. Для речовини, що має молекулярну будову, брутто-формула відображає склад окремої молекули і називається молекулярною формулою.** Однак, такі формули не несуть жодної інформації про послідовність сполучення атомів в молекулі, тобто про її структуру.

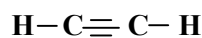
**Для того, щоб показати хімічну будову молекул, використовують структурні (графічні) формули.** Зазвичай в структурних формулах хімічні зв'язки між атомами позначають рисочками: одинарний (простий) зв'язок позначається однією рисою, подвійний – двома, потрійний – трьома.



*n*-Бутан

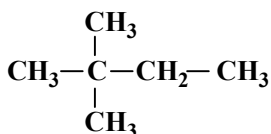


Пропаналь

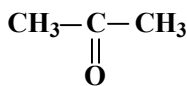


Етин

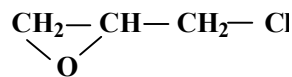
Для зручності часто використовують скорочені структурні формули, в яких рисочками позначають лише ті зв'язки, які мають ключове значення для розуміння будови молекули. Найчастіше не позначають С-Н зв'язки.



2,2-Диметилбутан



Ацетон

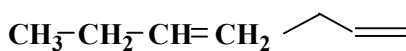


Епіхлорогидрин

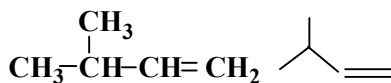
**Ще одним різновидом структурних формул є скелетні формули.** Вони широко використовуються для компактного зображення будови молекул, оскільки дозволяють чітко показати складні структурні особливості органічних сполук.

**Правила складання скелетних формул відрізняються такими особливостями:** атоми вуглецю, водню та зв'язки С-Н на них не відображають, а показують тільки скелет молекули. Якщо в утворенні скелету приймають участь атоми інших елементів, то їх позначають, як у звичайних структурних формулах.

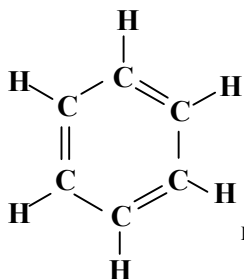
Нижче наведені приклади структурних і скелетних формул для декількох речовин.



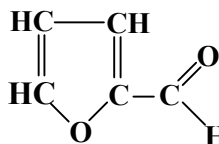
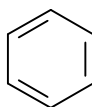
1-Бутен



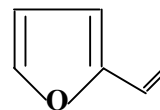
3-Метил-1-бутен



Бензен



Фурфурол



З відомих типів формул найчастіше застосовують структурні та скелетні. Їхнім суттєвим недоліком є те, що жодна з них не демонструє реального розташування атомів у просторі. Таку інформацію дають стереохімічні формули або тривимірні комп'ютерні моделі молекул, які будуються за допомогою спеціальних програм.

## Основні сировинні джерела органічних сполук

До основних сировинних джерел вуглеводнів відносяться: *нафта, кам'яне вугілля, природні гази*.

### Нафта

Нафта – це одна з найважливіших для людства корисних копалин. Це масляниста горюча рідина зі своєрідним запахом. Колір нафти здебільшого бурий і темно-коричневий (до чорного), рідше жовтий і зеленуватий і, зовсім рідко, зустрічається майже безбарвна – “біла нафта”.

Нафта залягає на глибинах від десятків метрів до 5–6 км, однак, більшість її покладів розташовується на глибині 1–3 км. Дотепер немає чіткого уявлення щодо походження нафти. Існують різні теорії її виникнення, але єдиної теорії досі нема, незважаючи на те, що цим питанням вчені займаються вже більше як 300 років. Більшість вчених вважають, що нафта має органічне походження, тобто вона, як і вугілля, виникла в результаті перетворення органічних речовин, переважно рослин глибоко під землею, під дією високих температур і високого тиску. Процес утворення нафти почався багато мільйонів років тому, разом з розвитком життя і триває до сьогодні.

До складу нафти входять ациклічні, циклоалканові та ароматичні вуглеводні. Кисневмісні сполуки представлені нафтеновими кислотами, фенолами, асфальто-смолистими речовинами. Сірчисті сполуки нафти – це сірководень, меркаптани, сульфіді, тіофен. Азотисті сполуки складаються, головним чином, з гомологів піридину та хіноліну. Компонентами нафти є також розчинені в ній гази, вода та мінеральні солі. Переважна більшість всієї добутої нафти переробляється на пальне, однак, щороку збільшується кількість нафти, яка використовується як сировина в органічному синтезі.

Сира нафта, яка прибуває на нафтопереробний або нафтохімічний заводи, спочатку проходить процес підготовки до переробки: цей процес включає стадії зневоднення, дегазації, знесолення та стабілізації.

Розрізняють *первинну* та *вторинну* переробку нафти.

Первинна переробка полягає у фракційній перегонці (ректифікації) нафти. За атмосферного тиску відганяють *світлі нафтопродукти* (табл. 1). Залишок, що має температуру кипіння більше 300 °С за атмосферного тиску, вже не переганяється і називається *мазутом*. Мазут переганяють за пониженого тиску, в результаті чого одержують *темні нафтопродукти* – мінеральні оливи, мастила та парафін. Залишок після перегонки мазуту називається *гудроном*, з якого виробляють *бітум*.

Вторинна переробка нафти – *крекінг* (від англ. *to crack* – колоти, розщеплювати), полягає у перетворенні висококиплячих нафтових фракцій – гасу, солярної оливи, мазуту в низькокиплячі – *бензини*. У процесі крекінгу відбувається розщеплення довгих вуглецевих ланцюгів з утворенням суміші насичених і ненасичених вуглеводнів. Паралельно протікають процеси ізомеризації та циклізації вуглецевих скелетів вуглеводнів.

## Продукти перегонки нафти

Фракції	Температура кипіння, °С	Число атомів вуглецю в молекулах вуглеводнів
<i>Світлі нафтопродукти:</i>		
Газ	нижче 20	C <sub>1</sub> – C <sub>4</sub>
Петролейний етер	20–100	C <sub>5</sub> – C <sub>6</sub>
Лігроїн	60–100	C <sub>6</sub> – C <sub>7</sub>
Прямогонний бензин	60–205	C <sub>5</sub> – C <sub>10</sub>
Гас	175–275	C <sub>10</sub> – C <sub>15</sub>
Солярова олива (дизпаливо)	230–300	C <sub>12</sub> – C <sub>18</sub>
<i>Темні нафтопродукти:</i>		
Мастила та оливи		C <sub>20</sub> – C <sub>50</sub>
Парафін		C <sub>20</sub> – C <sub>35</sub>

Розрізняють два основних види крекінгу – *термічний* та *каталітичний* (див. підрозд. 2.1). Продукти перегонки та крекінгу нафти використовують як моторне паливо, або піддають ще глибшому очищенню, з метою виділення індивідуальних сполук, які, в свою чергу, служать вихідною сировиною для добування різноманітних органічних речовин.

## Кам'яне вугілля

Кам'яне вугілля є важливим джерелом ароматичних та гетероциклічних сполук. Головним процесом переробки кам'яного вугілля є *коксування*. Для цього вугілля нагрівають у спеціальних камерах – коксових батареях, без доступу повітря, до температури 1200–1300 °С. При цьому утворюються чотири основних продукти: кокс, кам'яновугільна смола, аміачна вода, коксовий газ.

Кам'яновугільна смола шляхом фракційної перегонки розділяється на кілька фракцій (табл. 2).

## Продукти перегонки кам'яновугільної смоли

Фракція	Температура кипіння, °С	Основні продукти
Легкий олій	до 170	Ароматичні вуглеводні (бензен, толуен, ксилени)
Середній олій	170–230	Феноли
Важкий олій	230–270	Нафтаген
Антраценовий олій	270–340	Антрацен
Залишок (пек)	–	

Коксовий газ складається з метану, етилену, пропілену, водню, оксиду вуглецю (II). Крім того, в 1 м<sup>3</sup> коксового газу міститься приблизно 30 г бензену і 10 г толуену.

У 20–30-ті роки ХХ ст. в Німеччині розроблено промислові методи одержання з вугілля рідких вуглеводнів, які можна використовувати як моторне паливо. Для добування суміші рідких вуглеводнів вугілля гідрують за методом Бергіуса (див. підрозд. 2.1.) або перетворюють на синтез-газ (суміш  $\text{CO}$  та  $\text{H}_2$ ), з якого синтезують алкани, спирти тощо.

### **Природні гази**

Природні гази містять від 80 до 97 % метану, 0,5–4 % етану, до 1,5 % пропану, бутан, азот та інші домішки. З природного газу добувають ацетилен, синтез-газ (суміш  $\text{CO}$  і  $\text{H}_2\text{O}$ ), водень, газову сажу (дрібнодисперсний вуглець), хлоропохідні продукти.

Ректифікацією при низькій температурі з природного газу виділяють окремі складові: етан, пропан, бутан, які також використовують як пальне і сировину для органічного синтезу.

### **Інші джерела**

Такі органічні речовини як клітковина, крохмаль, інші вуглеводи, рослинні та ефірні олії, терпени, смоли тощо, є продуктами життєдіяльності рослин і добуваються з них. Органічні речовини тваринного походження – хітин, білки, ферменти, гормони, також використовують як сировину для органічного синтезу. Перспективним джерелом органічних сполук є океан, оскільки в морських рослинах та планктоні міститься основна маса органічних речовин нашої планети.

Актуальним сьогодні є використання сировини із відходів виробництв, продукції сільського та лісового господарства, торфу. Назагал відходи – це все те, що людина викидає на планеті в результаті життєдіяльності та господарювання. Відходи виробництва – це матеріальні залишки виробничого процесу, які втратили свою споживчу вартість. Розвиток виробництва та збільшення обсягів споживання спричинили нагромадження на планеті такої кількості відходів, яка стала загрожувати довкіллю та здоров'ю людей. Статистично тільки 1–1,5 % природних ресурсів використовується для виробництва продукції, а 98,5–99 % викидається у природне середовище у вигляді відходів. За сучасних умов обсяги відходів перевищують здатність екосистем їх нейтралізувати.

Кількість відходів, що утворюються на промислових виробництвах, можна визначити за матеріальним індексом виробництва, тобто за сумарними витратами сировини та допоміжних матеріалів на одну тонну готової продукції. За відсутності відходів матеріальний індекс виробництва дорівнює одиниці. На сучасних виробництвах він, як правило, значно більший. Так, наприклад, у виробництві барвників він коливається від 10 до 30.

Середній рівень залучення відходів (вторинних ресурсів) в Україні складає 12 %, причому ефективні напрямки переробки відходів становлять лише 3–5 %, що в 7–8 разів нижче, ніж у розвинутих країнах. Ось чому залучення вторинних ресурсів у господарський обіг є важливим фактором оздоровлення екологічної ситуації. Це підвищує екологічний рівень технологій і є критерієм науково-технічного розвитку цивілізованого суспільства.