

Міністерство освіти і науки України  
Волинський національний університет імені Лесі Українки  
Факультет хімії, екології та фармації  
Кафедра екології та охорони навколишнього середовища

З. В. Лавринюк

**ЗАГАЛЬНА ТА ХІМІЧНА ЕКОЛОГІЯ**

Конспект лекцій

Луцьк  
2022

УДК 502.1:54(075.8)  
Л 13

*Рекомендовано до друку науково-методичною радою  
Волинського національного університету  
імені Лесі Українки  
протокол № 2 від 19 жовтня*

**Рецензенти:**

к.і.н., завідувач кафедри екології  
Луцького НТУ

В.В. Іванців

к.х.н., доцент кафедри екології та охорони  
навколишнього середовища  
ВНУ імені Лесі Українки

О.А.Джам

**Лавринюк З. В.**

Л 13 Конспект лекцій з освітнього компонента «Загальна та хімічна екологія» для здобувачів освіти освітнього рівня бакалавр, спеціальностей 014 Середня освіта (Хімія), освітньо-професійної програми – Середня освіта; спеціальності 102 Хімія, освітньо-професійної програми – Хімія; спеціальності 161 Хімічні технологія та інженерія освітньо-професійної програми – Хімічні технології та інженерія. Луцьк : Вежа-Друк, 2022. 67 с.

У виданні подано матеріали лекцій з освітнього компонента «Загальна та хімічна екологія».

Рекомендовано для здобувачів освіти освітнього рівня бакалавр, спеціальностей 014 Середня освіта (Хімія), освітньо-професійної програми – Середня освіта; спеціальності 102 Хімія, освітньо-професійної програми – Хімія; спеціальності 161 Хімічні технологія та інженерія освітньо-професійної програми – Хімічні технології та інженерія.

УДК 502.1:54(075.8)

© Лавринюк З. В., 2022

©Волинський національний  
університет імені Лесі Українки, 2022

## ЗМІСТ

<i>ВСТУП.....</i>	<i>4</i>
<i>ПРЕДМЕТ ТА ЗАВДАННЯ ХІМІЧНОЇ ЕКОЛОГІЇ.....</i>	<i>5</i>
<i>ОСНОВНІ ЗАКОНИ ЕКОЛОГІЇ.....</i>	<i>7</i>
<i>ПОНЯТТЯ ПРО ЕКОЛОГІЧНИЙ ФАКТОР. КЛАСИФІКАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ.....</i>	<i>9</i>
<i>ХАРАКТЕРИСТИКА АБІОТИЧНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ.....</i>	<i>9</i>
<i>БІОТИЧНІ ФАКТОРИ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКА.....</i>	<i>14</i>
<i>ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКОСИСТЕМ.....</i>	<i>16</i>
<i>РОЛЬ ТА МІГРАЦІЯ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ПРИРОДІ. ХІМІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ В БІОСФЕРІ.....</i>	<i>22</i>
<i>БІОГЕОХІМІЧНІ КОЛООбІГИ ОСНОВНИХ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....</i>	<i>25</i>
<i>ПОНЯТТЯ ПРО ХІМІЧНІ ЕКОРЕГУЛЯТОРИ.....</i>	<i>29</i>
<i>РЕЧОВИНИ-ЗАБРУДНЮВАЧІ ДОВКІЛЛЯ.....</i>	<i>31</i>
<i>ТОКСИЧНІСТЬ РЕЧОВИН. СТАНДАРТИ ЯКОСТІ СЕРЕДОВИЩА.....</i>	<i>33</i>
<i>ХІМІКО-ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ АТМОСФЕРИ.....</i>	<i>36</i>
<i>ХІМІКО-ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ГІДРОСФЕРИ.....</i>	<i>47</i>
<i>ХІМІКО-ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЛІТОСФЕРИ.....</i>	<i>57</i>
<i>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</i>	<i>66</i>

## ВСТУП

Проблема взаємодії людського суспільства та природи стала однією з найважливіших проблем сучасності. Становище, яке складається у відносинах людини з природою, в багатьох випадках стає критичним: посилюється засуха, відбувається опустелювання великих територій, вичерпуються запаси води та корисних копалин, погіршується стан ґрунту, водного та повітряного басейнів, ускладнюється боротьба з шкідниками сільськогосподарських культур. Антропогенні зміни зачепили практично усі екосистеми планети, газовий склад атмосфери, надходження сонячної радіації та енергетичний баланс Землі. Це визначає, що стрімкий індустріальний прогрес водночас з матеріальними благами та небаченим раніше комфортом, несе зростання рівня забруднення середовища, зруйнування природних комплексів, незворотне виснажування природних ресурсів [1-10].

У природничих науках, зокрема хімічних, існує багато напрямів досліджень, що безпосередньо пов'язані з екологією. Спеціалісти-екологи повинні володіти широким спектром екологічних знань, умінь та навичок технічного, природничого, гуманітарного напрямку, які дозволяють оцінювати ступінь антропогенної дії на природу. Викладання природничих дисциплін із додаванням елементів екологічного змісту орієнтує, в першу чергу, на дослідження і відображення взаємовідносин людини з довкіллям. Актуальною є проблема оптимізації освіти в галузі довкілля на основі ґрунтовного філософського та психолого-педагогічного осмислення екологічних проблем з урахуванням рівня розвитку сучасної науки.

В конспекті лекцій викладено основні теоретичні положення сучасної загальної та хімічної екології, вплив екологічних факторів на живі організми, розглянуто закономірності поширення біогенних хімічних елементів, вплив хімічних забрудників на екологічні системи різних видів, сучасні екологічні проблеми, які пов'язані із погіршенням стану навколишнього природного середовища та їх наслідки. При формуванні методичного видання використано матеріали авторів [1-10].

## ЛЕКЦІЯ 1 «ПРЕДМЕТ ТА ЗАВДАННЯ ХІМІЧНОЇ ЕКОЛОГІЇ»

1. Етапи розвитку екологічної науки.
2. Предмет і завдання хімічної екології.

### 1. Етапи розвитку екологічної науки

Для кращого розуміння структури сучасної екології та основних завдань, які стоять перед нею, необхідно зробити короткий історичний огляд етапів розвитку екологічної науки та становлення екологічного світогляду.

Знання про взаємодію живих істот і довкілля, людини і природи людство почало накопичувати ще в античну епоху. Про це повідомляють праці давньогрецьких та римських філософів і вчених - Аристотеля (384-322 до н.е.), Платона (427-347 до н.е.), Демокріта (близько 460-370 до н.е.), Теофраста (371-280 до н.е.), Плінія Старшого (23-79 н.е.) та ін. Англійський хімік Роберт Бойль (1627-1691) уперше опублікував результати впливу низького атмосферного тиску на різних тварин. Шведський природодослідник Карл Лінней (1707-1778) у своїх працях порівнював природу з людською общиною, яка живе за визначеними законами. Французький дослідник природи Жорж Бюффон (1707-1788) підкреслював значення кліматичних факторів.

У своєму історичному розвитку екологія, як самостійна біологічна наука, пройшла три основних періоди, у яких панували відповідні способи екологічного мислення (парадигми). Початок першому етапу поклали праці Е.Геккеля (1834-1919), а також російського вченого К.Ф.Рул'є (1814-1858). Цей етап отримав назву "аутекологічного редукаціонізму". Суть його полягає у тім, що, як вважають прихильники відповідної йому течії в екології – факторіальної екології (або аутекології), усі явища, що стосуються розповсюдження та чисельності будь-яких організмів, можуть бути пояснені на основі відомої реакції на ті або інші *абіотичні фактори* (сукупність умов та явищ неорганічного походження). Екологія на цьому етапі виступає як пряме продовження фізіології в природних умовах. На першому етапі розвитку екології аутекологічний редукаціонізм був прогресивною методологією, що дозволило класифікувати велику кількість даних, відкрити ряд законів та принципів аутекології (екології виду).

На зміну першому етапу у середині ХХ ст. приходять етап "синекологічного редукаціонізму", який пов'язаний з виникненням та розвитком концепції популяції, в центрі уваги якої є аналіз взаємодії організмів (популяцій). Разом з тим, недолік синекологічного редукаціонізму полягав у тому, що екологи намагались (навіть під час вивчення цілого угруповання) звести суть явища, до взаємодії популяцій, тобто розкладали ціле на окремі елементи. Цей етап закінчився на початку 70-х років затвердженням найбільш прогресивного системного підходу в екології. Інтегрований підхід виник ще в 30-ті роки, у першу чергу завдяки працям видатного українського вченого В.І.Вернадського (1863-1945), який створив вчення про біосферу та показав перетворення людини в основну геологоперетворювальну силу планети. Він довів, яку велику роль відіграють живі організми у геохімічних процесах на нашій планеті. На початку 20-х рр. ХХ століття французький вчений Ле Руа ввів нове поняття – *ноосфера*, що означає новий стан біосфери, який спрямовується на діяльність розуму людини. Пізніше термін "ноосфера" широко використовував Тейяр де Шарден. В.І.Вернадський користувався цим терміном дуже обережно та лише наприкінці свого життя. Інтегрований підхід був глибше розроблений академіком В.Н. Сукачовим, англійським вченим А. Тенслі, американським вченим Ю. Одумом та ін. Отже, триваючий нині системно-синергетичний етап розвитку екології орієнтує екологічні дослідження на вивчення специфічних характеристик складноорганізованих об'єктів (екосистем, біогеоценозів), багатогранність зв'язків між елементами, їх співпідпорядкованість та взаємозалежність. Завдяки працям В.І. Вернадського цей підхід дозволяє розглядати екологічні об'єкти

найвищого рівня – біосферного, що в свою чергу повинно допомогти розв'язанню глобальних екологічних проблем.

Значний внесок у розвиток екологічної науки внесли вчені- біологи К.А. Тимірязєв (1843-1920), В.В. Докучаєв (1846-1903), Фредерік Клементс (1874-1945) та ін.

З виходом екології на глобальний – біосферний рівень, внаслідок появи нових практичних потреб, обумовлених розвитком цивілізації, йдеться мова про інтеграцію та диференціацію екологічних знань. Унаслідок цих двох протилежних, але взаємообумовлених процесів ускладнюється структура екології, з'являються нові підрозділи, а сама наука поширює свої межі пізнання за рамки біологічної науки.

Нині *екологія у широкому значенні* визначається як комплексна інтегрована наука, яка досліджує довкілля (екосферу планети), його вплив на суспільство та зворотну реакцію природи на діяльність людства. Екологія – це міждисциплінарна наука, яка базується на ґрунті біологічних, географічних, технічних, економічних та соціальних наук.

## 2. Предмет і завдання хімічної екології

Для визначення поняття “хімічна екологія” розглянемо три групи взаємовідносин екологічного характеру в таких аспектах: молекулярному (хімічному), біолого-географічному та соціальному.

Хімічний аспект в цих трьох видах відношень виявляється в існуванні хімічних речовин – посередників, за допомогою яких здійснюються ці взаємовідносини. Наприклад, феромони комах, сигнальне мічення територій секретами залоз у ссавців, антигени, антимулагени і такі інші хімічні агенти у тварин; фітонциди, алкалоїди, ефірні масла у рослин; різні форми симбіозу: автотрофно-захисні взаємодії у лишайників, фіксація азоту бульбочковими бактеріями у бобових та ін. Наведені приклади відносять до перших двох типів взаємодій.

Особливо важливим хімічний підхід стає під час розгляду екологічних проблем, котрі виникають при третьому типі взаємодій. Цей тип взаємодій склався нещодавно, коли діяльність людини стала виступати як геологічний фактор.

*Хімічна екологія* - це комплексна дисципліна, яка вивчає сукупність хімічних зв'язків у живій природі та хімічні взаємодії, які пов'язані з життям. Охоплює геохімічну екологію та ряд розділів екології, які вивчають хімічні взаємозв'язки організмів, організмів і середовища та ін.

До кола питань, які відносяться до хімічної екології належать:

- хімічні основи міжвидових та внутрішньовидових взаємодій, які склалися у природі без участі людини;
- вплив людської діяльності на біосферу та зворотний тиск біосфери на людину;
- проблема мінеральних та харчових ресурсів.

Для ефективного розв'язання багатьох екологічних проблем необхідне знання та вивчення хімічних причин їх виникнення. Звідки виходить потреба екологізації хімічних знань. Окрім того, конкретні розв'язання більшості екологічних питань пов'язані із досягненнями хімічної науки. Тільки визначивши генезис проблем можливо цілеспрямовано шукати методи їх розв'язання.

Часто в хімії розглядають тільки причину порушення екологічної рівноваги у природі. Але це не так. Погляд на будь-яку проблему довкілля з точки зору хімії важливо для формування цілісного світорозуміння. Окрім того, аналізуючи хімічні аспекти проблем, ми можемо визначити користь практичного характеру. Так, всім знайома проблема збереження тваринного та рослинного світу планети. З 45000 видів хребетних, які існують на Землі щороку відмирає 3-5 видів. Це означає, що п'ята частина всіх існуючих тварин та рослин вже зникла.

Здається, що ця проблема дуже далека від інтересів хімічної науки. Однак зменшення числа видів – це не тільки естетичне збіднення природи, а насамперед незворотні втрати генетичних ресурсів, тобто нуклеїнових кислот, білків, які є видоспецифічними (несуть

генетичну інформацію про особливості конкретного виду тварини, рослини або мікроорганізму). Такі унікальні молекули створювались мільйони років і у кожного виду вони особливі. ДНК людини, наприклад, відрізняється від ДНК шимпанзе. Втрата таких хімічних сполук означає збіднення молекулярного різноманіття живої речовини.

З іншого боку, нині для збереження зникаючих видів (передовсім біохіміки, молекулярні біологи, генні інженери, біотехнологи) розробляють одну з найбільш передових стратегій. Вона визначається в консервації генетичних ресурсів (наприклад, в умовах холоду, за температури рідкого азоту –  $-197^{\circ}\text{C}$ ), а потім відновлення виду різними шляхами через різноманітні маніпуляції з генетичним матеріалом. Встановлено, якщо збережені нуклеїнові кислоти (ДНК і РНК) даного виду, то цей вид потенційно відновлюваний.

## ЛЕКЦІЯ 2 «ОСНОВНІ ЗАКОНИ ЕКОЛОГІЇ»

1. Основні закони екології
2. Вплив лімітуючих факторів на організм. Закон мінімуму.

### 1. Основні закони екології.

Серед загальних законів сучасної екології необхідно назвати наступні.

*Закон біогенної міграції атомів (Вернадського):* міграція хімічних елементів на земній поверхні і в біосфері в цілому відбувається або за безпосередньої участі живої речовини, або в середовищі, геохімічні особливості якого ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  та ін.) зумовлені живою речовиною – і тією, що існує сьогодні, і тією, що діяла на Землі за всю її геологічну історію.

*Закон піраміди енергій (Р. Ліндемана)* – з одного трофічного рівня екологічної піраміди на інший переходить у середньому не більше 10% енергії.

*Закон константності (В. І. Вернадського)* – Кількість живої речовини біосфери, утвореної за певний геологічний час, є постійною величиною.

*Закон необоротності (Долло)* – організм (популяція, вид) не може повернутися до попереднього стану, вже здійсненого в ряду його предків.

*Закон 1%* – заміна енергетики природної системи в межах 1%, як правило, не виводить природну систему із врівноваженого стану.

*Закон мінімуму Ю. Лібіха.* За стаціонарного стану лімітуючою буде та речовина, доступна кількість котрої найбільш близька до необхідного мінімуму. Стійкість організму визначається найслабшою ланкою в ланцюзі його екологічних потреб.

*Закон толерантності (Шелфорда)* – лімітуючим фактором процвітання організму (виду) може бути як мінімум, так і максимум екологічного фактора, діапазон між якими визначає величину витривалості – толерантності організму.

*Закон конкурентного виключення (правило Гауза).* Два види, що займають одну екологічну нішу, не можуть співіснувати в одному місці нескінченно довго.

*Закон історичної незворотності.* Загальний процес розвитку біосфери та людства однонаправлений.

*Закон фізико-хімічної єдності живої речовини (В. І. Вернадського).* Уся жива речовина Землі має єдину фізико-хімічну природу.

*Закон рівнозначності умов життя.* Усі природні умови середовища, необхідні для життя, відіграють рівнозначні ролі.

*Закон обмеженості природних ресурсів.* Усі природні ресурси в умовах Землі вичерпні.

Американський еколог Баррі Коммонер у 1974 р. узагальнив екологічні закони, звівши їх до чотирьох: 1) “усе пов’язане з усім”; 2) “усе повинне кудись подітися”; 3) “природа знає краще”; 4) “ніщо не дається задарма”.

## 2. Вплив лімітуючих факторів на організм. Закон мінімуму.

Життєдіяльність організму залежить від середовища через екологічні фактори, які впливають на нього. У випадку, якщо який-небудь з факторів, які складають умови існування, має мінімальне значення, то він обмежує дію решти факторів і визначає кінцевий результат дії середовища на організм; змінити цей результат можна лише дією на обмежуючий (лімітуючий) фактор. Цей “закон мінімуму” або “закон обмежуючого фактора” був сформульований агрономом Ю. Лібіхом у 1840 р.: “витривалість організму визначається найслабшою ланкою в ланцюзі екологічних потреб”. Було помічено, що при недостатці у ґрунті одного з необхідних хімічних елементів, ніякі добрива які містять інші елементи, не поліпшують стан рослини, і лише добавка іону “в мінімуму” дає позитивні результати (підвищення врожаю).

Суть закону мінімуму: якщо кількість та якість екологічних факторів близькі до необхідного організмі мінімуму, організм виживає, якщо менші за цей мінімум то організм гине, а екосистема руйнується.

Пізніше, у 1909 р. англійський вчений Фредерік Блекман розширив цей закон і сформулював *закон лімітуючих факторів*: фактори середовища, які мають у конкретних умовах найгірші значення, найбільше обмежують можливість існування виду в цих умовах, незважаючи на оптимальне співвідношення інших умов.

*Закон толерантності* сформульований Ернстом Шелфордом у 1913 р. узагальнив закон мінімуму. Обмежуючим фактором процвітання організму може бути як мінімум так і максимум екологічного впливу, діапазон між якими визначає ступінь толерантності (витривалості) організму до даного фактора. Характер дії екологічного фактора можна зобразити графічно (рис. 1).

По осі абсцис відкладена інтенсивність фактора (наприклад, вологості, температури тощо), а по осі ординат – реакція організму на екологічний фактор у її кількісному вираженні. Організм здатний вижити лише в діапазоні мінливості даного фактора, який називають *амплітудою*. Діапазон дії екологічного фактора обмежений *точками мінімуму і максимуму або критичними точками*, які відповідають крайнім значенням даного фактора, при яких можливе існування організму. Між цими критичними точками (значеннями) розташована *зона екологічної толерантності*. Поблизу критичних точок лежать абсолютні величини фактора, а за межами зони дії фактора – летальні. У межах зони екологічної толерантності напруженість факторів середовища є різною.



Рис. 1. Схема стосунків в діапазоні екологічної толерантності [6].

Поряд з критичними точками розташовані *зони песимуму*, в яких активність організму



значно обмежена дією зовнішніх умов. Далі розташовані *зони комфорту*, в яких спостерігається чітке зростання екологічних реакцій організму. В центрі знаходиться *зона оптимуму*, яка є найсприятливішою для функціонування організму.

Схему стосунків в діапазоні екологічної толерантності була запропонована в 1924 р. німецьким екологом Р. Гессе, який назвав її *екологічною валентністю*. Представники різних видів дуже відрізняються за екологічною валентністю.

Види, які характеризуються широкою екологічною валентністю за відношенням до абіотичних факторів середовища називають *еврибіонтами*. Організми, життєві можливості яких обмежені вузьким діапазоном змін даного фактора, називають *стенобіонтами*.

### ЛЕКЦІЯ 3

#### «ПОНЯТТЯ ПРО ЕКОЛОГІЧНИЙ ФАКТОР. КЛАСИФІКАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ»

1. Поняття про екологічний фактор.
2. Класифікація екологічних факторів.

**1. Поняття про екологічний фактор.** Організм як елементарна частинка живого світу в середовищі свого існування перебуває під одночасним постійним впливом кліматичних, едафічних і біотичних факторів, які сукупно називають екологічними.

*Екологічний фактор* – це будь-який елемент середовища, здатний виявляти прямий вплив на живі організми хоча б протягом однієї фази їх розвитку.

**2. Класифікація екологічних факторів.** Найбільш прийнята класифікація екологічних факторів за походженням (рис. 2). За іншою класифікацією екологічні фактори об'єднують у десять груп:

1. за часом – фактори часу (еволюційний, історичний, діючий);
2. періодичності (періодичний і неперіодичний);
3. первинні та вторинні;
4. за походженням (абіотичні, біотичні, антропогенні, космічні, техногенні та ін.);
5. за середовищем виникнення (атмосферні, водні, фізіологічні, генетичні, екосистемні);
6. за характером (інформаційні, фізичні, хімічні, біогенні, кліматичні);
7. за ступенем впливу (летальні, обмежуючі, видові, соціальні);
8. за об'єктом впливу (індивідуальні, групові, соціальні, видові);
9. за умовами дії (залежні чи незалежні від щільності);
- за спектром дії (вибіркової чи загальної дії).

### ЛЕКЦІЯ 4

#### «ХАРАКТЕРИСТИКА АБІОТИЧНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ»

1. Кліматичні екологічні фактори.
2. Едафічні фактори.

Абіотичні екологічні фактори, в свою чергу, поділяють на: кліматичні (світло, температура, вологість, повітря і т.д.), едафічні або ґрунтові фактори, орографічні (рельєф, експозиція схилів), фізичні (фізичні поля, іонізуюче випромінювання).

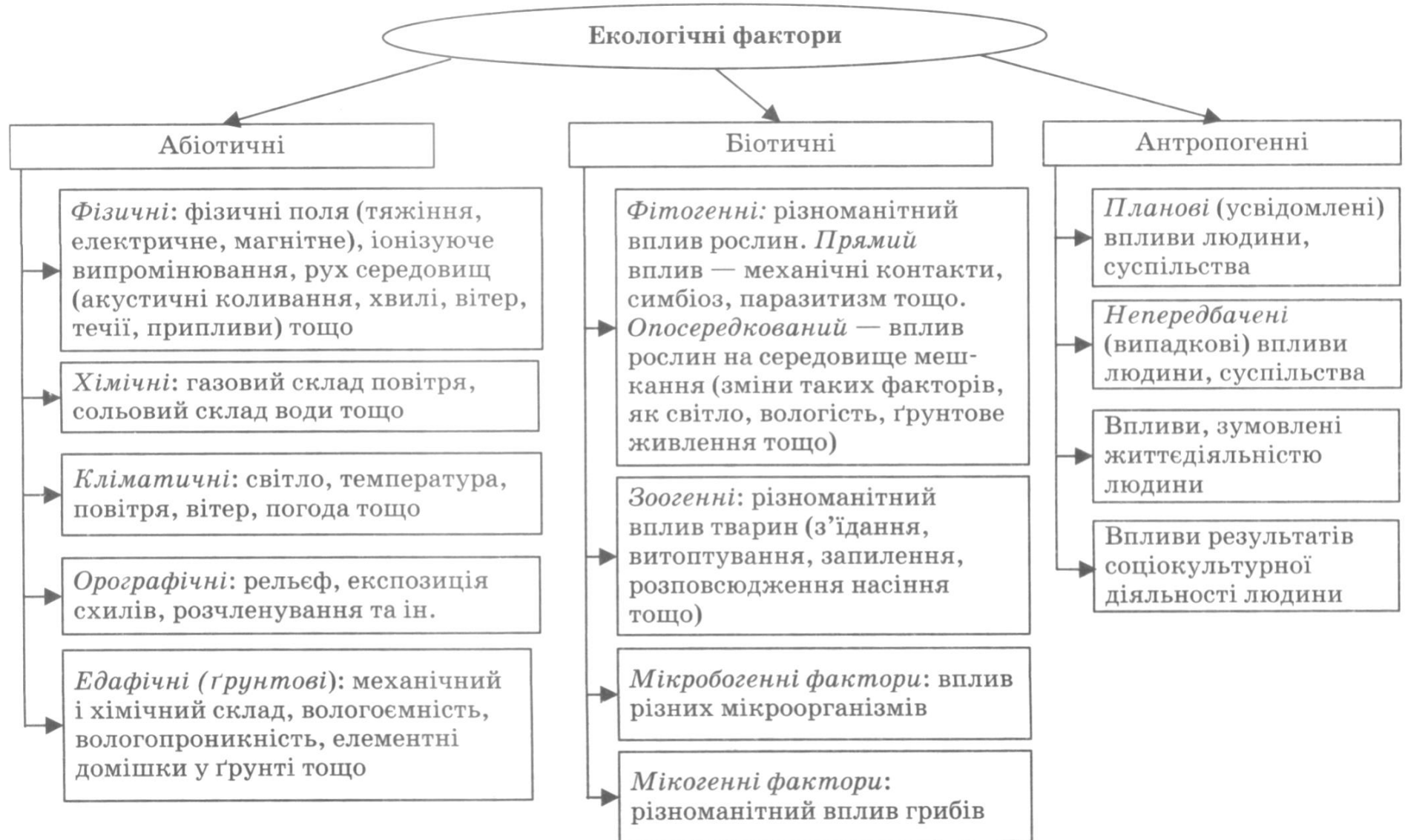


Рис. 2. Основні групи екологічних факторів [8].

## 1. Кліматичні екологічні фактори.

*Світло* – один з найбільш важливих для життя тварин і особливо рослин абіотичних факторів. Його роль визначається перш за все значенням рослин у біосфері як автотрофів, які здійснюють процес фотосинтезу. Світло здійснює безпосередній вплив на ріст, на процеси диференціації в клітинах і тканинах, на органотворення.

Сонячна радіація є електромагнітним випромінюванням у широкому діапазоні хвиль, від інфрачервоних променів (з довжиною хвилі від 800 нм) до ультрафіолетових (з довжиною хвилі 290-380 нм). Хвилі коротші, ніж 290 нм є згубними для живих організмів. Вони поглинаються озоном і до поверхні планети не доходять. Видиме світло, як відомо, обмежене зоною 380 нм (фіолетові промені) – 750 нм (червоні промені). На Землю надходить близько однієї двохмільярдної частини всієї енергії випромінювання Сонця. 42% усієї падаючої радіації (33%±9%) *відбивається атмосферою* в світовий простір, 15% *поглинається товщею атмосфери* і йде на її нагрівання і лише 43% *досягає земної поверхні*

Ця доля радіації складається з *прямої радіації* (27%) – майже паралельних променів, які йдуть безпосередньо від Сонця, і *розсіяної радіації* (16%) – променів, що надходять до Землі з усіх точок небосхилу, крапель водяних парів, кристаликів льоду, частинок пилу. Загальну суму прямої і розсіяної радіації називають *сумарною радіацією*.

Кількість сонячної радіації, яка проходить через атмосферу, є постійною: 1,98 до 2 кал/см<sup>2</sup> хв, або 5×10<sup>20</sup> ккал в рік на всю земну кулю. Цю величину називають *сонячною сталою*.

На видиме проміння припадає приблизно половини всієї променистої енергії, яка поступає на Землю. Решту 50% складають невидимі інфрачервоні промені, близько 1% – ультрафіолетові.

В житті рослин важливе значення має кількість падаючого світла, тобто *інтенсивність освітлення*. Вона залежить від широтності, а також рівня забруднення атмосферного повітря. В межах міста через забрудненість атмосферного повітря освітлюваність на 5-15 % нижча, ніж у приміських зонах.

За відношенням до світла розрізняють три основні групи рослин:

- *світлолюбні (геліофіти)* – зустрічаються майже виключно на відкритих місцях існування і сильне затінення діє на них пригнічуюче. До цієї групи відносяться види південних пустель, тундри, високогір'я, рослини першого ярусу (мати-й-мачуха, молодило, очиток їдкий, анемона тощо);

- *тіньові (сціофіти)* – в природних умовах не ростуть на яскраво освітлених місцях. До цієї групи належать види значно затінених місць існування, які ростуть у печерах, розщілинах скель, на водних глибинах тощо (кислиця, майник дволистий та ін.);

- *тіневитривалі* – можуть рости при повному денному світлі, але краще розвиваються при деякому затіненні. До цієї групи відносяться більшість видів лісової зони. Тіневитривалі також більшість кімнатних рослин, в основному тропічні за походженням.

Рух Землі навколо Сонця викликає закономірні і періодичні зміни її освітленості і відповідно зумовлює тривалість дня і ночі за порами року. Ритмічні зміни морфологічних, біохімічних та фізіологічних властивостей і функцій організмів під впливом чергування і тривалості освітлення називається *фотоперіодизмом*.

Фотоперіодизм був відкритий у 1920 р. В. Гарнером і Н. Алардом. У залежності від фотоперіодичної реакції рослин, яка визначається тривалістю світлового періоду, яка необхідна для переходу їх до цвітіння, виділяють:

- *рослини короткого дня*, у яких початок квітування відбувається при тривалості світлового періоду доби 12 годин і менше (конопля, капуста, хризантеми тощо);

- *рослини довгого дня*, яким для успішного квітування і подальшого розвитку необхідна тривалість безперервного світлового періоду більше 12 годин на добу (льон, цибуля, овес, морква, картопля, пшениця тощо);

– *фотоперіодично нейтральні* рослини, у яких розвиток генеративних органів настає в широкому інтервалі тривалості періоду освітленості (виноград, кульбаба, бузок, флокси тощо).

Рослини довгого дня походять переважно з північних широт, а короткого дня – з південних. Багато листопадних дерев помірної зони при довгому світловому дні стають вічнозеленими.

*Температура* одна із найважливіших умов існування живих організмів, тому що всі фізіологічні процеси в них можливі лише при певних температурах. Прихід тепла на земну поверхню забезпечується сонячними променями і розповсюджується на Землі у залежності від висоти Сонця над горизонтом і кута падіння сонячного проміння, тобто по-різному представлений у різних широтах і висоті над рівнем моря, чим забезпечується різний температурний режим в окремих районах земної кулі.

Екологічним фактором є не лише абсолютна кількість тепла, а і його розподіл у часі – тепловий режим. Саме він визначає добову і сезонну активність організмів.

Температурний режим змінюється у широтному і висотному напрямках. У горах зі збільшенням висоти на кожні 100 м над рівнем моря температура повітря знижується на 0,5 °С. Зміна температури зі зміною висоти над рівнем моря одержала назву *висотного градієнта*.

За відношенням до фактора температури всі організми поділяють на *теплолюбні (термофіли)* – оптимум лежить у межах підвищених температур. Вони існують у зонах тропічного і субтропічного клімату, *холодолюбні (кріофіли)* для них оптимальні низькі температури. До них належать види, які мешкають у полярних і високогірних зонах.

У тварин спостерігається два основних типи теплообміну. Перший тип характерний для тварин з нестійким рівнем обміну речовин, непостійною температурою тіла і майже повною відсутністю механізмів теплорегуляції. Таких тварин з таким типом обміну називають *холоднокровними* або *пойкілотермними*. До них належить більшість тварин, крім птахів та ссавців. До організмів, які не можуть підтримувати постійну температуру тіла відносяться також мікроорганізми, рослини, безхребетні.

Другий тип властивий тваринам з більш високим і стійким рівнем обміну речовин, у процесі якого здійснюється терморегуляція і забезпечується відносно постійна температура тіла. Такі тварини називаються *теплокровними* або *гомойотермними*.

*Вода* – найважливіший екологічний фактор для всього живого на Землі. Живих організмів, які не містять у складі свого тіла воду, на нашій, планеті не виявлено. Усі процеси живлення, дихання, виділення, тобто увесь обмін речовин протікає лише з участю води. Необхідна організмам кількість води часто є обмежуючим фактором у життєдіяльності виду, що обумовлює його розселення і чисельність.

Загальний об'єм води на земній кулі становить близько 1500 млн. км<sup>3</sup>. Він складається з рідкої (прісної та солоної), твердої та газоподібної води. Із загальної її кількості на океани і моря припадає близько 97%. Більша частина води зосереджена у південній півкулі. Три чверті з 3%, які залишилися, знаходяться у твердому стані у вигляді льодовиків і полярних льодових шапок.

У складі рослини – від 40 до 90% і більше води. Рослини залежно від їх пристосування до певних місць мешкання розрізняють такі екологічні групи.

*Гідатофіти* – це водні рослини цілком чи майже цілком занурені у воду. Серед них є квіткові (елодея, рдести, водяні жовтці, валіснерія та ін.). Вийняті з води, ці рослини швидко висихають і гинуть. У них редуковані продихи і немає кутикули.

*Гідрофіти* – рослини наземно-водні, частково занурені у воду, що ростуть по берегах водойм, на мілководдях, на болотах. Зустрічаються в районах із різними кліматичними умовами (очерет звичайний, рогіз вузьколистий, калюжниця болотна та ін.).

*Гігрофіти* – наземні рослини, що живуть в умовах підвищеної вологості повітря і часто на вологих ґрунтах (недотрога, будяк городній, рис, росички та ін.).

*Мезофіти* зростають в умовах достатнього зволоження. Це рослини, що виростають

при середньому зволоженні, помірно теплому режимі і досить доброї забезпеченості мінеральним живленням (дерева верхніх ярусів тропічних та субтропічних лісів, листяні породи лісів помірного поясу, чагарники підліску, трав'янисті рослини дібров, рослини заливних і не занадто сухих суходільних лугов, багато бур'янів і більшість культурних рослин).

*Ксерофіти* ростуть у місцях з недостатнім зволоженням і мають пристосування, що дозволяють добувати воду при її нестачі, обмежувати випаровування води чи запасати її на час посухи. Це рослини пустель, степів, піщаних дюн і сухих схилів, що сильно нагріваються. Ксерофіти підрозділяються на два основних типи: сукуленти і склерофіти.

*Сукуленти* – м'ясисті рослини із сильно розвиненою водозапасаючою паренхімою в різних органах (кактуси, алое, аспарагус, кислиця).

*Склерофіти* – це рослини, навпаки, сухі на вигляд, часто з вузькими і дрібними листами, іноді згорнутими в трубочку. Листи можуть бути також розсіченими, покритими волосками чи восковим нальотом (полинь холодна, ковила, тонконогі, типчак та ін.).

Тварини одержують воду трьома основними шляхами: через питво, разом із соковитою їжею й у результаті метаболізму, тобто за рахунок окислювання і розщеплення жирів, білків і вуглеводів.

За відношення до вологи тварини поділяються на три екологічні групи: вологолюбні (*гігрофіли*) – мокриці, комари, *мезофіли*, – ті які віддають перевагу помірній вологості та *сухолобні (ксерофіли)* – терміти верблюди, піщанки. Способи регуляції водного балансу у тварин поділяються на *поведінкові, морфологічні і фізіологічні*.

До числа *поведінкових* пристосувань відносяться пошуки водопоїв, вибір місць проживання, риття нір і т.п.

До *морфологічних* способів підтримки нормального водного балансу відносяться утворення, що сприяють затримці води в тілі: раковини наземних равликів, що ороговіли покриви рептилій, розвиток епікутикули в комах і т.п.

*Фізіологічні* пристосування до регуляції водного обмін – це здатність до утворення метаболічної вологи, економії води при виділенні сечі, розвиток витривалості до зневоднювання організму, величина потовиділення і віддачі води зі слизових. Витривалість до зневоднення, як правило, вище у тварин, що піддаються тепловим переважанням. Для людини утрата води, що перевищує 10% маси тіла, смертельна. Верблюди переносять утрати води до 27%, вівці до 23%, собаки до 17%.

*Повітря* – це фізична суміш газів різної хімічної природи, які мають для живих істот першочергове значення. З біологічної точки зору повітря – це не тільки газова оболонка Землі, але й газовий компонент ґрунту, розчинні гази природних вод і тканинних рідин організмів. Повітря є матеріальним середовищем, з яким тісно пов'язана життєдіяльність практично всіх організмів.

Склад повітря, позбавлений вологи і твердих домішок, практично однаковий у всіх місцях земної кулі і характеризується такими значеннями (на висоті над рівнем моря): кисень – 20,95%, азот – 78,01%, вуглекислий газ – 0,03%, інертні гази  $\approx$  1% (серед них аргону – 0,93%).

Поряд із вказаними компонентами повітря містить незначні кількості водню, озону, ксенону, сірчаного ангідриду, оксиду вуглецю (СО), аміаку та ін. У повітрі є також водяна пара, кількість якої залежить від температури, ефірні олії та ін.

Для абсолютної більшості живих організмів *кисень* є життєво необхідним. У безкисневому середовищі можуть розвиватися лише анаеробні бактерії. У біосфері кисень знаходиться у вигляді молекулярного О<sub>2</sub>, атомарного кисню О, і озону О<sub>3</sub>. Останній на висоті 25-30 км утворює озоновий шар, що не пропускає ультрафіолетові промені з довжиною хвилі менше 290 нм, які знищують все живе. Майже весь кисень атмосфери має біологічне походження. У атмосфері планети він з'явився лише завдяки зеленим автотрофним рослинам, тобто у результаті фотосинтезу.

Біосфера є складною сумішшю сполук *вуглецю*, які безпосередньо виникають,

змінюються, розкладаються. Основне природне джерело CO<sub>2</sub> – ґрунтове дихання. Вуглекислий газ надходить в атмосферу не тільки внаслідок природних процесів (виверження вулканів, діяльності ґрунтових організмів, дихання рослин і тварин), а й внаслідок спалювання горючих корисних копалин, як побічний продукт хімічної та мікробіологічної промисловості.

**2.Едафічні фактори.** *Едафічні фактори* – це ґрунтові умови, що впливають на життя і поширення живих організмів.

*Ґрунт* – це поверхневий шар Землі, який володіє родючістю. Родючість – це здатність ґрунтів постачати рослинам для їх життєдіяльності необхідні поживні речовини, воду і повітря.

У 1883 р. Докучаєв вперше у своїй праці довів, що ґрунт є самостійне природне тіло, і його формування є складним процесом взаємодії 5 природних факторів ґрунтоутворення: клімату, рельєфу, рослинного та тваринного світу, ґрунтоутворюючих порід та віку.

До складу ґрунтів входять чотири структурних компоненти: мінеральна основа (50-60% загального складу ґрунту), органічна речовина (до 10%), повітря (15-20%), вода (до 25-35%). Залежно від кліматичних, геологічних та географічних умов ґрунти мають товщину від 15-25 см до 2-3 м.

Щодо умов існування організмів у ґрунті, то у ньому згладжені температурні коливання порівняно з приземним шаром повітря, а наявність ґрунтових вод і опадів забезпечують режим вологості проміжний між водним і наземним середовищем. Ці визначають велику насиченість ґрунту життям.

Життєві процеси у ґрунті залежать, в першу чергу, від його вологості, однак не вся волога, яка є у ґрунті, доступна рослинам та іншим мешканцям ґрунтів. Виділяють 4 форми стану ґрунтової води:

- 1.гігроскопічну;
- 2.капілярну неадсорбовану;
- 3.капілярну адсорбовану;
- 4.капілярну гравітаційну.

Гігроскопічна вода зароджується у водних парах, які огортають частинки ґрунту тонкою плівкою. Ця вода недоступна для рослин і тварин.

Капілярна неадсорбована вода заповнює пори з діаметром менше 0,2 мікрметра і міцно там утримується. Вона також не використовується живими організмами. Ці два види води утворюють так звану мертву воду.

Активно поглинається рослинами капілярна адсорбована вода, яка знаходиться у капілярах з діаметром 0,2-0,8 мікрметра. Її ще називають підвішеною. Ця вода нагромаджується у період між дощами і підтримує вологість ґрунтового повітря.

Гравітаційна вода частково нагромаджується в крупних порах ґрунту. Ця вода під силою тяжіння стікає в нижні горизонти, вона доступна для рослин, якщо вони встигають її використати.

## ЛЕКЦІЯ 4 «БІОТИЧНІ ФАКТОРИ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКА»

- 1.Біотичні фактори та їх характеристика.
2. Екологічна структура популяції.

**1.Біотичні фактори.** *Біотичні фактори* – сукупність взаємних впливів одних живих організмів на інші та на середовище мешкання. Розрізняють взаємодії між організмами одного виду (гомotypові реакції) та між організмами різних видів (гетеротипові реакції).

До *гомotypових реакцій* відносять реакції таких типів: групового ефекту, масового

ефекту, внутрішньовидової конкуренції.

*Груповий ефект* означає зміни, пов'язані з об'єднаннями тварин одного виду. Одним з його важливих наслідків є значне прискорення росту угруповання. Групове життя полегшує тваринам пошук їжі, боротьбу з ворогами, піклуватися про потомство.

*Масовий ефект* зумовлений перенасиченням середовища. Його добре ілюструє приклад розмноження борошняного хрущака. Одна самка цього виду відкладає максимальну кількість яєць, вище якої (оптимум) плодовитість її зменшується. До оптимуму відмічаємо груповий ефект, далі – масовий. Це пояснюється тим, що внаслідок перенасичення нагромаджується велика кількість екскрементів, які є токсичними і зменшують плодовитість самки хрущака.

*Внутрішньовидова конкуренція* проявляється у територіальній поведінці, коли тварини захищають місце свого проживання і прилеглу територію. Конкуренція між особинами виду загострюється у міру ущільнення популяції.

*Гетеротипові реакції.* Вплив особин одного виду на особини іншого виду може бути нульовим (0), сприятливим (позитивним) (+) або ж несприятливим (негативним) (–).

*Нейтралізм* (00) – нульовий варіант стосунків, коли обидва види незалежні і не впливають на один одного (білка і лось).

*Конкуренція* (– –) – негативний вплив одного виду на інший (вівця і кролик).

*Мутуалізм* (+ +) – можливість життя одного виду у присутності іншого (бджола та квітка). Різновидність мутуалізму – симбіоз.

*Коменсалізм* (+ 0) – взаємозв'язок при якому один вид угруповання – коменсал отримує користь від співжиття з іншим видом, а останній її немає. (акула і риби-прилипали).

*Аменсалізм* (– 0) – один вид, який називається аменсалом, відчуває на собі пригнічення росту і розмноження, а інший, який називається інгібітором, таких впливів не відчуває (гриби – продуценти антибіотиків і бактерії).

*Хижацтво* (+ –) одні організми вбивають інших та живляться ними (вовки заєць).

*Паразитизм* (+ –) – одні організми живляться за рахунок споживання живої тканини господарів (кліщі, блошиці, глисти, омела та інші).

*Міжвидова конкуренція* – тим сильніша, чим види ближчі між собою. Це положення було перетворене у закон, відомий під назвою *принцип конкурентного витіснення Гаузе*: “два види не можуть разом існувати, якщо вони залежать від одного і того ж лімітуючого фактору”.

Міжвидова конкуренція – це активний пошук представниками двох або декількох видів одних і тих же кормових ресурсів середовища місцезростання рослин або проживання тварин. Конкуренція – це явище, яке спостерігається при використанні різними особинами одного ж і того джерела енергії.

Розрізняють *активну* конкуренцію, при якій один з видів своєю поведінкою не дає іншому доступу до корму або території, і *пасивну*, коли поведінка тварин не заважає доступу конкуруючого виду до необхідних ресурсів. Цей тип конкурентних відносин поширений серед більшості рослин.

Проте інколи два види, які мають однакові кормові потреби, живуть на одній території і не конкурують один з одним. Це пояснюється тим, що кожний з видів в процесі еволюції пристосувався до своєї екологічної ніші. Термін “екологічна ніша” вперше був вжитий американського вченим Джозефом Гріннелом у 1917 р.

*Екологічна ніша* – фізичний простір з властивими йому екологічними умовами, що визначають існування будь-якого організму, місце виду в природі, що включає становище його в просторі, функціональну роль у біоценозі та ставленні до абіотичних факторів існування. Екологічна ніша характеризує ступінь біологічної спеціалізації виду.

За образним висловлюванням Ю. Одума, місцезростання – це адреса мешкання виду, а екологічна ніша – це система занять в тій системі видів, його “професія”.

**2. Екологічна структура популяції.** В екології *популяцією* називають сукупність

особин одного виду, які відтворюють себе протягом великої кількості поколінь, тривалий час займають певну територію та характеризуються спільністю генофонду.

Популяції як групові об'єднання володіють рядом специфічних властивостей, які не характерні для кожної окремо взятої особини. Групові особливості – це основні характеристики популяцій. До них, зокрема належать: *чисельність* – загальна кількість особин на певній території; *щільність* – середня кількість особин популяції на одиницю площі чи об'єму, які займає популяція у просторі; *статева структура* популяції – співвідношення статі; *народжуваність* – число нових особин, які з'являються за одиницю часу внаслідок розмноження; *смертність* – показник, який відображає кількість померлих особин у популяції за одиницю часу; *приріст* – різниця між народжуваністю і смертністю; приріст популяції може бути як позитивним, так і негативним; *вікова структура* популяції – співвідношення чисельності різних вікових груп в популяціях; *просторова структура* популяції – це характер зв'язку популяції з територією. За Швертфегером розподіл особин у популяції на зайнятій території може бути:

1. випадковим (коли організми не намагаються об'єднуватися в групи);
2. рівномірним (у морських сидячих олігохет);
3. груповий або нерівномірний (різко виражена мозаїчність і незайнятий простір між окремими скупченнями особин).

*Етологічна структура популяції* – це закономірності поведінки тварин, система взаємовідносин між членами однієї популяції. Науку про біологічні основи поведінки тварин називають *етологією*. Виділяють наступні форми існування особин у популяції:

– *поодинокий спосіб життя*, при якому особини популяції незалежні і відокремлені одна від одної, але лише на певних стадіях життєвого циклу;

– *сімейний спосіб життя* характеризується посиленням зв'язків між батьками та їх потомством;

– *колонії* – групові поселення осілих тварин. Вони можуть існувати довготривало чи виникати лише на період розмноження, наприклад, у багатьох птахів: граків, чайок, гагар, тупиків тощо.

– *зграї* – тимчасові об'єднання тварин, які виявляють біологічно корисну організованість дій. Зграї полегшують виконання будь-яких функцій у житті виду: захисту від ворогів, добування їжі, міграції. Найбільш широко зграйність розповсюджена серед птахів, риб та ссавців (багатьох собачих).

– *стадо* – найбільш тривалі і постійні об'єднання тварин. У стадних групах, як правило, здійснюються всі основні функції життя виду: добування їжі, захист від ворогів, міграції, розмноження, виховання молодих особин тощо.

Будь-яка популяція практично здатна до необмеженого росту чисельності, якщо її не лімітують фактори зовнішнього середовища. В такому гіпотетичному випадку швидкість росту популяції буде залежати від *величини біологічного потенціалу*, властивого даному виду. Поняття біологічного потенціалу було введено в екологію у 1928 році Р. Чепменом, – це показник, який відображає теоретичний максимум потомків від однієї пари (або особини).

## ЛЕКЦІЯ 5

### «ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКОСИСТЕМ»

1. Загальна характеристика екосистем
2. Біоциноз як екосистема.
3. Біосфера як глобальна екосистема.

**1. Загальна характеристика екосистем.** Всяку сукупність організмів і неорганічних компонентів, в якій може здійснюватись кругообіг речовин, називають *екосистемою*. Термін був запропонований у 1935 р. англійським екологом А. Тенслі, який підкреслював, що при



такому підході неорганічні і органічні фактори виступають як рівноправні компоненти і не можна відділяти організми від конкретного середовища їх існування.

Кожна екосистема складається з біоценозу та біотопу. *Біотоп* – це ділянка поверхні землі з більш-менш однотипними умовами існування. *Біоценоз* – це історично сформована сукупність рослин, тварин та мікроорганізмів, що заселяє біотоп. Кожний біоценоз складається з *фітоценозу, зооценозу та мікробіоценозу*.

Для підтримання кругообігу речовин у системі необхідна наявність запасу неорганічних молекул, у формі що засвоюється трьома функціонально різними екологічними групами організмів: продуцентами, консументами і редуцентами. *Продуцентами* називаються автотрофні організми, які здатні будувати свої тіла за рахунок неорганічних сполук (рослини). *Консументи* – це гетеротрофні організми, які споживають органічну речовину продуцентів або інших консументів і трансформують її у нові форми (тварини).

*Редуценти* живуть за рахунок мертвої органічної речовини, яку вони переводять знову у неорганічні сполуки (мікроорганізми).

В екології разом з розвитком концепції екосистем розвивається вчення про біогеоценози, автором якого був академік В. Н. Сукачов. “Екосистема” та “біогеоценоз” – поняття досить близькі, але перше може застосовуватись для систем любого рангу, у яких здійснюється кругообіг речовин, а “біогеоценоз” – поняття територіальне – воно відноситься до таких ділянок суші, які зайняті певними одиницями рослинного покриву – фітоценозами.

Отже, *біогеоценоз* – це ділянка земної поверхні з відносно однорідною рослинністю, тваринним світом, мікроорганізмами, кліматичними та ґрунтовими умовами. Ці компоненти розглядаються як єдиний організм, пов’язані між собою обміном речовин та енергії.

Усі живі організми екосистеми створюють біомасу. *Біомаса* – це виражена в одиницях маси чи енергії кількість живої речовини (популяцій, видів, біотичних угруповань), яка припадає на дану площу чи об’єм. Для зіставлення параметрів біомаси її виражають в одиницях сухої речовини.

Швидкість, з якою продуценти екосистеми фіксують сонячну енергію в хімічних зв’язках синтезованої органічної речовини, *визначає продуктивність угруповання*.

Біомасу, а також енергію, яку утворюють рослини за одиницю часу на одиниці площі, називають *первинною продукцією угруповання*. Продукцію виражають кількісно у масі рослин (в г на 1м<sup>2</sup> за рік) або в енергетичних одиницях – еквівалентному числі джоулів.

*Первинна валова продукція* – кількість речовини, яка утворюється рослинами за одиницю часу при даній швидкості фотосинтезу.

*Чиста первинна продукція* – це швидкість накопичення органічної речовини рослинами понад ту, яка затрачена на дихання.

*Чиста продукція* – та, яку можна зважити у процесі збору. Оцінка ефективності чистої продукції рослин коливається в межах 30-85% і залежить від місцезростання.

Приріст за одиницю часу маси консументів – це *вторинна продукція угруповання*. Вторинну продукцію вираховують окремо для кожного трофічного рівня.

Ефективність чистої продукції у тварин обернено пропорційна їхній активності: у птахів <1%, у свійських тварин ≈11%.

Усім без виключення біоценозам властиві певні кількісні співвідношення первинної та вторинної продукції, яке отримало назву *правила пірамід продукції*: на кожному попередньому трофічному рівні кількість біомаси, що утворилася за одиницю часу, більше ніж на наступному. Трофічну структуру можна зобразити графічно у вигляді екологічних пірамід, основою яких служить перший рівень продуцентів, а наступні рівні утворюють сходинок і вершину піраміди.

Екологічні піраміди виражають у вигляді прямокутників рівної висоти, які звужуються до верху. Їх довжина відповідає масштабам продукції на трофічних рівнях. Піраміда продукції відображає закони витрати енергії у ланцюгах живлення.

Екологічні піраміди відносять до трьох типів.

1. *Піраміда чисел* Елтона – відображає співвідношення кількості особин у харчовому ланцюгу.

2. *Піраміда біомас* – відображає співвідношення мас живої речовини кожного кільця трофічного ланцюга.

3. *Піраміда енергій* – відображає співвідношення енергетичних еквівалентів на одиницю часу кожної ланки трофічного ланцюга.

Все різноманіття змін, які відбуваються в екосистемах, можна віднести до двох основних типів: *циклічні і поступові*. *Циклічні зміни* угруповань відображають добову, сезонну і багаторічну періодичність зовнішніх умов і прояв ендогенних ритмів організмів.

Масштабні зміни географічної оболонки або типу ландшафту під впливом природних катастроф чи діяльності людини призводять до послідовних змін стану екосистеми – *сукцесій*. Наприкінці XIX ст. динаміку угруповань вперше описав Е. Вармінг. Найповніше розробили теорію сукцесії американські ботаніки Р. Коулес і Ф. Клементс.

В основі сукцесій лежить неповнота біологічного кругообігу в даній екосистемі. У процесі сукцесії спостерігається цілий ряд змін одного біоценозу іншим аж поки не буде сформоване більш стійке при даних умовах угруповання. Такий послідовний закономірний ряд заміни одного біоценозу іншим називають сукцесійною серією, або *сукцесійним рядом*. В сукцесійних рядах є початкові, проміжні і кінцеві (клімаксові) стадії. Сукцесії можуть бути прогресивні та регресивні, якщо вони ведуть до збіднення або спрощення угруповань.

Розрізняють сукцесії первинні і вторинні. Розвиток біоценозу на вільних від ґрунту землях називають *первинною сукцесією* (на вулканічних туфових і лавових полях, сипучих пісках, кам'янистих розсипах, на породах, що відкрилися внаслідок обвалів, зсувів і т. д.).

*Вторинні сукцесії* відбуваються на місці зруйнованих або сильнопорушених угруповань, де збереглися ґрунти та деякі живі організми й частіше всього носять відновлювальний характер (після суцільної вирубки лісу, після пожежі).

**2. Біоценоз як екосистема.** *Біоценоз* – угруповання взаємопов'язаних між собою популяцій організмів різних видів, які населяють ділянку земної поверхні з однорідними умовами існування.

Термін “біоценоз” запропонований німецьким зоологом К. Мебіусом в 1877 році. Складовими біоценозу є *фітоценоз* (сукупність рослин), *зооценоз* (сукупність тварин), *мікоценоз* (сукупність грибів) і *мікробіоценоз* (сукупність мікроорганізмів). Синонім біоценозу – *угруповання*.

Ділянка поверхні території (суші або водойми) з однотипними абіотичними умовами (рельєфом, кліматом, ґрунтами, характером зволоження та ін.), яку займає той чи інший біоценоз, називається *біотопом*.

*Структура біоценозу* це закономірності у співвідношенні і зв'язках її частин. Під *видовою структурою* біоценозу розуміють набір рослин, тварин, мікроорганізмів, який є у даному угрупованні та співвідношення їх чисельності та біомаси. Біоценози утворені людиною – *агроценози* (поля, сади, городи), мають меншу кількість видів, ніж подібні до них природні системи.

*Просторова структура біоценозу* – закономірне розміщення структурних елементів угруповання по відношенню один до одного.

Виділяють *вертикальну та горизонтальну* структуру біоценозу. Коли різні за висотою рослини існують разом, фітоценоз набуває чіткої *вертикальної ярусності*: асимілюючі наземні органи рослин і їх підземні частини розташовані у декілька шарів.

*Ярусом* називають частину шару рослинного угруповання в якій розміщені асимілюючі органи рослин – листя, стебла, а також запасуючі підземні органи (коріння, кореневища, цибулини).

У лісових біоценозах виділяють такі яруси:

1. ярус крон дерев розташований найвище над поверхнею ґрунту;

- 2 чагарниковий або підлісковий ярус;
3. трав'янистий ярус включає однорічні та багаторічні трави;
4. приземний ярус, який складається з мохів, лишайників та грибів.

*Підземна ярусність* біоценозу відображає вертикальний розподіл корневих систем фітоценозу.

Тваринний світ також поділяють на яруси життя: зооедафон (види, які живуть у ґрунті) і наземні тварини.

*Горизонтальна структура* біоценозу, або мозаїчність зумовлена такими причинами як: неоднорідністю мікрорельєфу ґрунтів, особливостями просторового розширення популяцій, діяльністю тварин та людини.

*Міжвидові відносини в біоценозі.* Основу виникнення та існування біоценозу складають відносини організмів, їх зв'язки, у які вони вступають одне з одним у біотопі.

За екологічною класифікацією міжвидові відносини поділяють на 4 типи: трофічні, топічні, форичні, фабричні.

*Трофічні зв'язки* виникають, коли один вид живиться другим, або живими особами, або їх мертвими залишками чи продуктами їх життєдіяльності.

*Топічні зв'язки* характеризують будь-яку фізичну або хімічну зміну умов існування одного виду в результаті життєдіяльності іншого. Ці зв'язки проявляються в утворенні одним видом середовища для іншого.

*Форичні зв'язки.* Це участь одного виду у розповсюдженні іншого. У ролі розповсюджувачів виступають тварини.

*Фабричні зв'язки.* Це такий тип біоценотичних відносин при яких один вид використовує для своїх споруд продукти виділення, мертві залишки або живих особин іншого виду. Для будівництва своїх гнізд птахи використовують гілки дерев, траву, пух та пір'я інших тварин.

*Трофічні зв'язки в угрупованнях* – це механізм передачі енергії від одного організму до іншого, тому вони в угрупованнях переплітаються у складну сітку, яка називається *кормовою мережею* і являє собою схему усіх трофічних зв'язків між видами, що входять до складу цього угруповання. Але конкретна порція енергії, яка накопичена зеленими рослинами, може передаватися не більш ніж через 4-6 ланок ряду, що складається із організмів, які послідовно живляться одне іншим. Такі ряди, в яких можна прослідкувати шляхи витрати первинної дози енергії, називають *ланцюгами живлення*. Кормова мережа об'єднує усі організми біоценозу в єдиний комплекс.

Місце кожного організму (ланки) в ланцюзі живлення називають трофічним рівнем. *Перший трофічний рівень* представлений продуцентами або автотрофними організмами (рослини). *Другий трофічний рівень* утворюють травоядні тварини, яких ще називають *первинними консументами*.

*На третьому трофічному рівні* знаходяться м'ясоїдні тварини, які живляться травоядними, їх ще називають *вторинними консументами*, або первинними хижаками. Хижаки, які живляться первинними хижаками, становлять *четвертий трофічний рівень* і називаються *третинними консументами* і т.д.

Кінцеву ланку кормового ланцюга утворюють деструктори, мікроорганізми, які розкладають органічні речовини.

### **3. Біосфера як глобальна екосистема.**

Земля і навколишнє середовище сформувалися в результаті закономірного розвитку всієї Сонячної системи. Близько 4,7 млрд. років тому з розсіяної в сонячній системі газопильної речовини утворилася планета Земля. Як і інші планети, Земля отримує енергію від Сонця, що досягає земної поверхні у вигляді електромагнітного випромінювання. Сонячне тепло – одне з головних складових клімату Землі, основа для розвитку багатьох геологічних процесів. Великий тепловий потік виходить також з глибини Землі.

За останніми даними, маса Землі складає  $5976 \cdot 10^{21}$  кг, об'єм –  $1,083 \cdot 10^{12}$  км<sup>3</sup>, площа поверхні – 510,2 млн. км<sup>2</sup>.

Наша планета має неоднорідну будову і складається з концентричних оболонок (геосфер) – внутрішніх і зовнішніх. До внутрішніх відносяться ядро та мантія, а до зовнішніх – літосфера, гідросфера, атмосфера і складна оболонка Землі – біосфера.

Перші ідеї про взаємозв'язок між живою і неживою природою зустрічаються у працях таких вчених як Ж. Бюффон, А. Лавуазьє, О. фон Гумбольдт, М. Ломоносов. Першим з біологів, що чітко вказав на величезну роль живих організмів в утворенні земної кори, був Ж. Б. Ламарк. Він підкреслював, що всі речовини, що знаходяться на поверхні земної кулі і утворюють його кору, сформувалися завдяки діяльності живих організмів.

Термін “біосфера” запропонував австрійський вчений Е. Зюсс у 1975 р. і визначав дану оболонку як обмежену у часі і просторі сукупність організмів на поверхні Землі.

Сучасне вчення про біосферу було розроблено В. І. Вернадським (1863-1945), а також незалежно від нього свою власну концепцію створив інший вчений П. А. Тутковський.

*Біосфера* (у сучасному розумінні) – своєрідна оболонка Землі, що містить всю сукупність живих організмів і ту частину речовини планети, що знаходиться в безперервному обміні з цими організмами.

В. І. Вернадський виділяв основні структурні компоненти біосфери, кожна з цих складових характеризується специфічною, динамічною структурою та організацією.

*Жива речовина* – сукупність організмів різних видів, що забезпечує безперервний зв'язок різноманітних геологічних та біологічних процесів.

*Біогенна речовина* – органо-мінеральні та органічні продукти, створені організмами (всі форми дендриту, кам'яне вугілля, нафта, газ, горючі сланці тощо).

*Косна речовина* – нежива речовина, в утворенні якої живі організми участі не брали (гірські вивержені породи, мінерали, опади).

*Біокосна речовина* – те, що утворюються і переробляється в результаті взаємодії живого і неживого, (осадові породи, вапняки, крейда, кисень, створений зеленими рослинами, ґрунти та ін.).

*Радіоактивні речовини*, які входять до складу земної кори з моменту її зародження.

*Речовини космічного походження* (метеорити).

Терміном “жива речовина” вчений позначив усю сукупність живих організмів. Зону найбільшої концентрації організмів у біосфері, В. І. Вернадський називав “пластом живої речовини”. Цей пласт живої речовини охоплює нижній шар тропосфери (10-30 км) над рослинним покривом, освітлений шар води у водоймах (до 400 м у Світовому океані), верхні шари ґрунту з коріннями рослин, мікроорганізмами та і ґрунтовою біотою.

Найбільш висока концентрація живої речовини знаходиться на межах розподілу головних середовищ – у ґрунті як граничному шарі між атмосферою та літосферою, у поверхневих шарах океану, на дні водойм і, особливо, у лиманах, на літоралі, де всі три середовища – ґрунт, вода та повітря знаходяться поряд. Ці місця найбільшої концентрації життя В. І. Вернадський називав “плівками життя”.

*Межі біосфери* як глобальної екосистеми (верхня та нижня) визначаються наявністю сприятливих для організмів абіотичних факторів: температури, води, складу газів, елементів мінерального живлення. *Верхню межу* біосфери В.І. Вернадський назвав *променевою*, яка обмежена інтенсивною концентрацією ультрафіолетової радіації, а фізичною межею поширення життя в атмосфері є озоновий екран, який поглинає більшу частину ультрафіолетового випромінювання Сонця. Отже, верхню межу біосфери проводять на висоті приблизно 20-25 км від поверхні Землі.

*Нижню межу* біосфери називають *термічною*, оскільки вона зумовлена наявністю високих температур. Її проводять на суші у середньому на глибині 3-3,5 км від земної поверхні, тобто там, де температура підземних вод та гірських порід у літосфері перевищує 100 °С.

У гідросфері нижня межа існування активного життя обмежується дном Світового

океану – понад 11 км, де температура становить близько 0°C (рис. 5). Більше поширення живих організмів (за наведені межі) обмежено лімітуючими чинниками: проникненню вгору перешкоджає космічне випромінювання, а проникненню углиб – висока температура земних надр.

По вертикалі біосфера розділяється на дві чітко відокремлені області: верхню, освітлену, – *фотобіосферу*, у якій відбувається фотосинтез, і нижню, “темну”, – *меланобіосферу*, у якій фотосинтез неможливий.

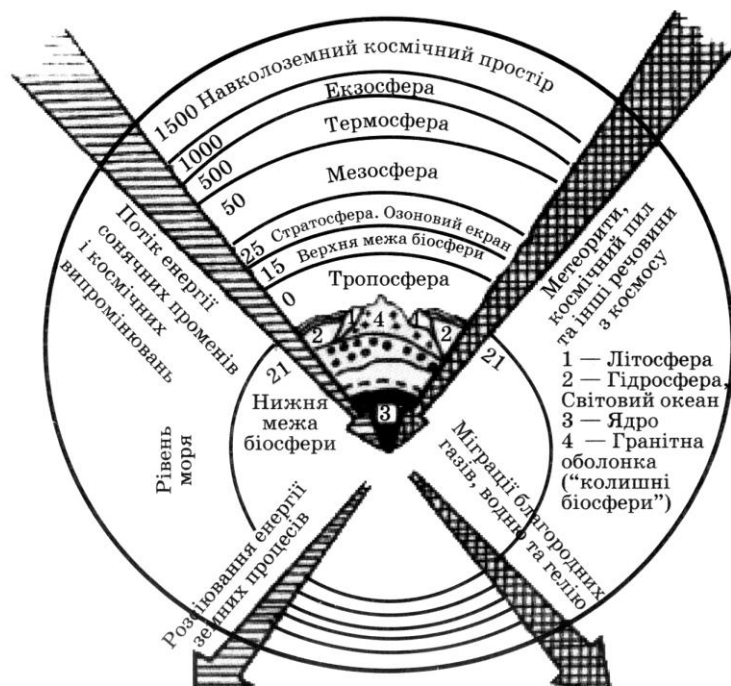


Рис. 3. Біосфера та її оточення [6].

На суші межа між ними проходить поверхнею Землі.

Створюючи вчення про біосферу В. І. Вернадський висловлював ідею про те, що саме живій речовині належить провідна роль у формуванні навколишнього середовища. Це положення підтверджується глобальними (біосферними) функціями живої речовини, творчо розвинутих послідовниками В. І. Вернадського (табл. 1).

За рахунок процесів міграції хімічних елементів усі геосфери Землі зв'язані єдиним циклом кругообігу цих елементів. Такий кругообіг, рушійною силою якого є тектонічні процеси та сонячна енергія, отримав назву *великого (геологічного) кругообігу*. Цей кругообіг має абіотичний характер. Тривалість його існування приблизно 4 млрд. років. Потужність великого кругообігу речовин в атмосфері, гідросфері і літосфері оцінюється в  $2 \times 10^{16}$  т в рік.

Виникнення життя на Землі спричинило появу нової форми міграції хімічних елементів – біогенної. *Малим, або біологічним, кругообігом* речовин називають обмін хімічними елементами між живими організмами та неживими компонентами біосфери – атмосферою, гідросферою і літосферою. У малому біологічному кругообігу переміщуються в основному вуглець ( $10^{11}$  т у рік), кисень ( $2 \times 10^{11}$  т у рік), азот ( $2 \times 10^{11}$  т у рік), фосфор ( $10^8$  т у рік).

Обидва кругообіги протікають одночасно та тісно зв'язані між собою. Живі організми в біосфері ініціюють кругообіг речовин та призводять до виникнення *біогеохімічних циклів* – як циклічні, поетапні перетворення речовин та зміна потоків енергії, які здійснюються за рахунок сумісної дії біотичної та абіотичної трансформації речовин. Біогеохімічні цикли становлять собою циклічні переміщення біогенних елементів: С, О, Н, N, S, P, Ca, K та інших від одного компоненту біосфери до інших.

Основні функції живої речовини [6]

<i>Глобальна функція</i>	<i>Характеристика</i>
<i>Енергетична</i>	<i>Поглинання і запасання сонячної енергії у процесі фотосинтезу, а хімічної енергії – шляхом розкладу речовин, насичених енергією, а також передача цієї енергії харчовими ланцюгами</i>
<i>Середовищевірна</i>	<i>Перетворення фізико-хімічних параметрів середовища для забезпечення стабільності сприятливих екологічних умов на Землі</i>
<i>Концентраційна</i>	<i>Вибіркове вилучення і накопичення організмами у процесі життєдіяльності певних біогенних речовин для залучення їх у біотичний кругообіг та для побудови свого тіла</i>
<i>Деструктивна</i>	<i>Розкладання і мінералізація мертвої органіки і залучення утворених мінералів у біотичний кругообіг</i>
<i>Окисно-відновна</i>	<i>Хімічне перетворення речовин та їх сполук за допомогою живих організмів. Утворення нових речовин як результату окисно-відновних реакцій</i>
<i>Інформаційна</i>	<i>Накопичення, збереження і передача живими організмами молекулярної та сигнальної інформації, необхідної для підтримки рівноваги в екосистемах</i>
<i>Транспортна</i>	<i>Перенесення речовини та енергії у результаті активної форми руху організмів</i>

На певних етапах цього кругообігу вони входять до складу живої речовини.

Рушійною силою всіх речовин в біогеохімічних циклах є потік сонячної енергії або частково енергії геологічних процесів Землі.

У 1944 р. вчений написав статтю “Декілька слів про ноосферу”. Сам термін “ноосфера” було запропоновано французьким математиком Е. Леруа у 1927 р. і він трактував ноосферу як “мислячу” оболонку, що формується людською свідомістю. В. І. Вернадський зазначав, що можливості людини з її розумом і технікою такі значні, що вона може втручатись в хід геолого-хімічних процесів Землі і навіть змінювати їх природний напрям. Людство має усвідомити свою силу і роль у біосфері і тоді настане новий етап її розвитку.

*Ноосфера* – це етап розвитку біосфери, на якому людина, свідомо використовуючи свої знання, буде підтримувати існування біосфери та сприяти її розвитку. Ноосферу В. І. Вернадський розумів як природне тіло, компонентами якого будуть літосфера, атмосфера, гідросфера та органічний світ, перетворений розумовою діяльністю людини.

## ЛЕКЦІЯ 6

### «РОЛЬ ТА МІГРАЦІЯ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ПРИРОДІ. ХІМІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ В БІОСФЕРІ»

- 1.Класифікація хімічних елементів.
- 2.Біогенні елементи як зв'язуюча ланка між живою та неживою природою.
- 3.Вміст хімічних елементів у біосфері та організмі людини.
- 4.Закономірності розповсюдження хімічних елементів у біосфері.
- 5.Біологічне значення хімічних елементів.

Близько 90 елементів існують у біосфері, інші добуті штучно за допомогою ядерних реакцій. Організм людини вміщує близько 70 елементів. Тільки 8 елементів – Оксиген,

Силіцій, Алюміній, Ферум, Кальцій, Натрій, Калій та Магній складають за масою 99% земної кори, причому половина припадає на Оксиген, а чверть – на Силіцій.

З хімічних елементів, які зустрічаються у природі в значних кількостях (таких близько 50), приблизно половину складають *біогенні елементи*. Вони постійно входять до складу організмів і виконують життєво необхідні біологічні функції (Оксиген, Карбон, Фосфор, Нітроген та ін.). До елементів-органогенів належать: Карбон, Гідроген, Оксиген, Нітроген, Фосфор, Сульфур, Галогени та деякі метали. Інші – другорядні елементи, які не мають певної цінності для живої клітини. Термін "другорядні елементи" не зовсім коректний, тому що в природі не має таких елементів, біологічними функціями яких можна було нехтувати. "Другорядність" слід розуміти як рідкість, мале розповсюдження атомів деяких елементів у складі живої природи.

Біогенні елементи поділяються на *макро- та мікроелементи*. Макроелементи використовуються організмами у великих кількостях: Оксиген, Гідроген, Карбон, Нітроген, Ферум, Фосфор, Калій, Кальцій, Сульфур, Магній, Натрій, Хлор та ін. Макроелементи приймають участь у побудові органічних сполук та неорганічних речовин живих організмів, складаючи основну масу сухої речовини останніх, вони входять до складу білків, нуклеїнових кислот, вуглеводів. Вміст їх змінюється від 60 до 0,001% маси тіла. Для Карбону, Нітрогену, Оксигену та Гідрогену використовують історичну назву – органогени, тобто елементи, які породжують органічні сполуки. Роль мікроелементів у житті тварин та людини для одних елементів достатньо вивчена, для інших – імовірна. Вони також необхідні для життєдіяльності, як макроелементи, але в значно менших кількостях. Вміст їх змінюється від 0,001 до 0,00001% маси тіла. Мікроелементи входять до складу ферментів, гормонів, вітамінів та інших біологічно активних сполук, в основному як комплексоутворювачі або активатори обміну речовин.

До даної групи належать Манган, Бор, Кобальт, Купрум, Йод, Цинк, Ванадій, Бром, Алюміній. Головний критерій за яким відрізняють макроелементи від мікроелементів – це потреба організму в елементі, яка виражається в мг/кг маси або мг/добу. Щоденна потреба в макроелементах приблизно дорівнює 100 мг/добу, тоді як в мікроелементах не перевищує кількох міліграмів. Крім того, вміст макроелементів в організмі знаходиться на постійному рівні та суттєві відхилення від цього рівня не викликають серйозних ускладнень для життя. Тоді, як незначна зміна кількості мікроелементів приводить до захворювань.

Вміст *ультрамікроелементів* не перевищує 0,000001% маси тіла. Фізіологічна роль їх в організмах тварин та рослин повністю ще не вивчена. До цієї групи належать Уран, Радій, Аурум, Меркурій, Цезій, Селен та інші рідкі елементи.

Взагалі, чіткого розмежування між макро- та мікроелементами немає. Наприклад, набір мікроелементів рослин значно відрізняється від набору мікроелементів тварин. Так, для рослин хімічний елемент Натрій не відіграє суттєвої ролі, тоді як в організмах тварин та людини він регулює водно-електролітну та кислотну-основну рівновагу. Бор не є обов'язковим для тварин, але дуже важливий для рослин (при його нестачі в ґрунті деякі мікроорганізми перестають фіксувати Нітроген і живляться за рахунок рослин).

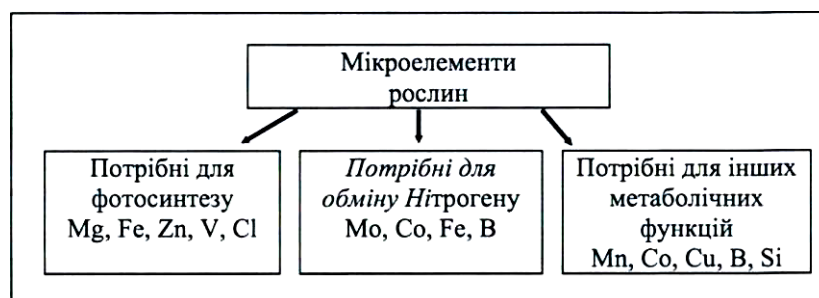


Рис. 4. Значення мікроелементів у житті рослин [7]

Залежно від валентного стану та структури електронних рівнів роль кожного мікроелементу строго специфічна, й тому його не можна замінити в біохімічних процесах ніякими іншими хімічними елементами. Це положення підтверджується чисельними дослідженнями. Наприклад, з випробуваних 77 елементів ні один не змінив Галій, який потрібен для спороутворення грибів.

Отже, роль, яку відіграють деякі хімічні елементи в біосфері достатньо вивчена. Наведемо деякі основні властивості окремих хімічних елементів і їх дію на живі організми.

**Карбон (С).** Основний складовий елемент рослинного та тваринного світу.

**Оксиген (О).** Найпоширеніший елемент на планеті. Необхідний елемент процесів дихання.

**Фосфор (Р).** Забезпечує організм енергією. Необхідний елемент для побудови кісткової тканини.

**Кальцій (Са).** Сприяє розвитку та укріпленню кісткової тканини.

**Купрум (Сu).** Незмінний фактор нормального використання організмом Феруму. З продуктів харчування багато Купруму в молоці, маргарині, медові, а найбільше – у горіхах і овочах.

**Йод (I).** Нестача йоду в атмосфері, воді та ґрунтах призводить до захворювань щитовидної залози.

**Силіцій (Si).** Його сполуки складають 75% (за масою) земної кори.

**Цинк (Zn).** З екологічного погляду важливо підтримувати вміст цинку в довкіллі на належному рівні, від 13 до 350 мг на 1 кг ґрунту. На клітинному рівні існує антагонізм між Цинком і Купрумом.

**Молібден (Mo).** Незамінний елемент нітрогенофіксуючих мікроорганізмів. З нестачею молібдену в середовищі пов'язують карієс зубів, захворювання суглобів, кісток, а також порушення роботи залоз внутрішньої секреції.

**Флуор (F).** Досить поширений мікроелемент. Різниця між позитивною і шкідливою дозою фтору дуже мала і в цьому полягає велика небезпека фторування води. Отрууються фтором там, де у питній воді та ґрунтах міститься багато фосфору.

**Магній (Mg).** Приймає участь у фотосинтезі, як компонент хлорофілу.

**Меркурій (Hg).** Входить до складу багатьох гірських порід, ґрунтів, води, повітря. Крім того, джерелом ртуті в біосфері є різні фунгіциди, якими обробляють зерно перед сівбою. До організму Меркурій надходить дуже повільно, пошкоджує нервові клітини, органи слуху і дотику.

В.І. Вернадський вказував на те, що існує зв'язок між геохімічними процесами (процесами розподілу та перетворення елементів у складі Землі) та життєдіяльністю живих організмів. При такому підході живі організми можна назвати відкритими системами (з точки зору термодинаміки), тобто системи, які вільно обмінюються з навколишнім середовищем енергією та речовиною. Знаходження того або іншого елемента в організмі та частка його в останньому визначається такими фактами:

- наявністю елемента в природі в доступній формі;
- здатністю організму поглинати елемент;
- здатністю організму утримувати елемент.

У табл. 1 у стислій формі відзначена дія, що виникає в рослинах у разі підвищення й зниження вмісту металів у ґрунтах і як це позначається на стані тварин.

Існують визначені закономірності в розподілі елементів. У 1869 р. Д.І. Менделєєв зазначав, що найбільш розповсюджені хімічні елементи мають малу атомну масу. У 1914 р. італійський фізик Дж.Оддо визначив що, в земній корі переважають елементи з парним атомним номером і парною атомною масою. Докладніше це явище було вивчено американським вченим У. Гаркінсом. **Правило Оддо-Гаркінса** наголошує: з двох сусідніх хімічних елементів Періодичної системи елементів вміст у земній корі парного елемента взагалі більший. Наприклад, з восьми основних елементів, що утворюють 99%



маси земної кори, на частку парних елементів припадає 86 %, а на частку непарних – разом 14%.

### **ЛЕКЦІЯ 3** **«БІОГЕОХІМІЧНІ КОЛООБІГИ ОСНОВНИХ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ»**

1. Основна характеристика та біогеохімічний колообіг Карбону.
2. Основна характеристика та біогеохімічний колообіг Нітрогену.
3. Основна характеристика та біогеохімічний колообіг Фосфору.
4. Основна характеристика та біогеохімічний колообіг Оксигену.
5. Основна характеристика та біогеохімічний колообіг Сульфуру.
6. Основна характеристика та біогеохімічний колообіг Калію.

Із появою на Землі живої матерії створилась можливість безперервної циркуляції хімічних елементів у біосфері та їх переходу з зовнішнього середовища до організмів та назад до зовнішнього середовища. Така циркуляція хімічних елементів одержала назву біогеохімічних колообігів. Біогеохімічні колообіги у біосфері можна поділити на два основних типи:

- 1) колообіги газоподібних речовин із резервним фондом в атмосфері або гідросфері (океан) та
- 2) осадові цикли хімічних елементів із резервним фондом у земній корі.

У природі хімічні елементи завжди розподіляються нерівномірно по всій екосистемі і мають різну хімічну форму. Завдяки наявності в атмосфері великого резервного фонду колообіги деяких газоподібних речовин здатні до швидкої саморегуляції при різних місцевих порушеннях рівноваги. Наприклад, надлишок вуглекислого газу, який накопичився в будь-якому місці у зв'язку з інтенсивним окисненням або горінням, швидко розсіюється повітрям; крім того інтенсивне утворення вуглекислого газу компенсується збільшенням його потреби рослинами або перетворенням його на карбонати. Таким чином, колообіги газоподібних речовин у глобальному масштабі відносно стабільні. Основними такими циклами є колообіги Карбону (в складі вуглекислого газу), Нітрогену, Оксигену, Фосфору, Сульфуру та інших біогенних елементів.

**1. Колообіг Карбону.** Карбон у природі перебуває як у вільному стані, так і у вигляді різних сполук. Вміст Карбону у земній корі становить 0,14%. У вільному стані Карбон існує у вигляді графіту й алмазу. Основна маса Карбону входить до складу карбонатів ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ), нафти, кам'яного та бурого вугілля, сланців, природного газу. Карбон є складовою частиною тканини усіх живих організмів. Вміст  $\text{CO}_2$  в атмосфері невеликий (0,03 %).

Карбон є основою усього живого на Землі тому, що атоми, маючи помірну електронегативність, здатні безпосередньо зв'язуватися один з одним. При цьому вони утворюють довгі розгалужені ланцюги, замкнені цикли і складні багатомірні структури за рахунок міцних ковалентних зв'язків. Унікальність карбонового атома полягає у здатності утворювати величезну кількість різноманітних сполук, що можна пояснити тим, що:

- Карбон поєднує в собі ознаки багатьох хімічних елементів нашої планети;
- Карбон здатний утворювати різноманітні ланцюги, зв'язки, завдяки електронній будові атома;
- Карбон має, так звану, комбінаційну валентність:



- Карбон здатний утворювати ланцюги, зв'язки з іншими елементами;
- Карбон здатний утворювати велику кількість конформаційних та конфігураційних ізомерів.

**2. Колообіг Нітрогену.** У природі більшість Нітрогену трапляється у вільному стані, у вигляді простої речовини азоту. Об'ємна частка азоту в повітрі становить 78,03 %. Неорганічні сполуки нітрогену трапляються у природі у незначних кількостях. Масова частка Нітрогену у земній корі (включаючи гідросферу, атмосферу) складає 0,04%.

Нітроген весь час вилучається з ґрунту рослинами. Внаслідок цього знижується родючість ґрунту. У зв'язку з необхідністю внесення у ґрунт азотних добрив були прийняті зусилля з використання атмосферного азоту для одержання азотистих сполук, так звана **азотофіксація**.

Нині синтез амоніаку з водню і азоту – основний спосіб зв'язування атмосферного азоту. Однак, такий спосіб азотофіксації енергоємний та коштовний. Тому останнім часом вчені здійснюють дослідження по зв'язуванню атмосферного азоту за допомогою різних комплексних сполук.

Нітроген – необхідний елемент для життєдіяльності тваринного і рослинного світу. Помітна кількість Нітрогену входить до складу органічних речовин – білків, нуклеїнових кислот, вітамінів, алкалоїдів тощо.

Найпоширенішим мінералом, що містить у своєму складі Нітроген, є чилійська селітра  $\text{NaNO}_3$ , багаті поклади якої виявлено у Чилі. Рідше трапляється калійна селітра  $\text{KNO}_3$

Молекулярний азот – інертний газ. За звичайної температури азот реагує тільки з літєм, при підвищеній температурі – з деякими металами: магнієм, кальцієм, утворюючи нітриди, при високих температурах безпосередньо сполучається з воднем і киснем.

Незважаючи на значну концентрацію азоту в атмосфері, 70% його використання можливе у вигляді певних хімічних сполук. Фіксація Нітрогену відбувається в процесі вулканічної діяльності, при грозових розрядах у атмосфері, при згоранні метеоритів. Однак, значно вагоміше значення в процесі фіксації Нітрогену належить мікроорганізмам, які існують на коріннях, листі, у певних бульбових.

Амоніак  $\text{NH}_3$  в організмі людини є одним з продуктів дезамінування амінокислот, білків, біогенних амінів, пуринових і пиримідинових основ, що потрапляють з їжею. Це найпростіший нітрогеновмісний метаболіт, хімічні властивості якого обумовлені специфічними властивостями Нітрогену в сполуках.

**3. Колообіг Фосфору.** Фосфор досить поширений елемент: уміст його в земній корі становить 0,04 %. У вільному стані Фосфор у природі не трапляється. Основними мінералами Фосфору є фосфорит  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  та апатит. Великі поклади фосфориту є в Південному Казахстані, апатиту – на Кольському півострові, Забайкаллі та в Україні.

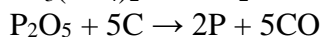
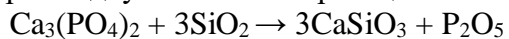
За вмістом у живих організмах (0,95%) Фосфор відносять до мікроелементів. Багато реакцій біосинтезу здійснюється завдяки переносу фосфатних груп. Фосфатна буферна система є однією з основних буферних систем крові. Живі організми не можуть існувати без Фосфору. Значення Фосфору полягає у тому, що вуглеводи і жирні кислоти не можуть бути використані клітинами, як джерела енергії без попереднього фосфорилування.

Обмін Фосфору в організмі тісно пов'язаний з обміном Кальцію. Це підтверджується зменшенням кількості неорганічного Фосфору при збільшенні вмісту Кальцію в крові (антагонізм).

Фосфор потрапляє до рослин з ґрунту, а в організми людини і тварин надходить під час споживання рослинної їжі. Виділяючись з організмів людини і тварин, фосфор знову потрапляє у ґрунт, але вже в більш мінералізованому вигляді. В організмі людини міститься близько 1,5 кг Фосфору. Добова потреба у Фосфорі складає 1,3 г.

Фосфор добувають з фосфоритів. Для цього подрібнений фосфорит змішують з піском і коксом, суміш нагрівають в електродіафрагмах до 1400-1500°C без доступу повітря. У

цьому разі відбуваються такі реакції:



Фосфор, що утворюється внаслідок реакції, переходить у пару, яка конденсується у приймачі під водою.

**4. Колообіг Оксигену.** Оксиген – найпоширеніший елемент у земній корі, його вміст становить 49,4%. Високий вміст і значна активність Оксигену визначається формою існування більшості хімічних елементів Землі у вигляді оксигеновмісних сполук. Оксиген входить до складу життєво необхідних органічних речовин – білків, жирів, вуглеводів.

Найбільш розповсюджений на Землі оксид – гідроген оксид або вода  $\text{H}_2\text{O}$ . Вода складає 50-99% маси будь-якого живого організму. В організмі людини міститься 70-80% води. За 70 років життя людина випиває 25000 кг води.

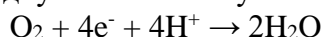
Завдяки структурі вода має унікальні властивості. У живому організмі вона є універсальним розчинником органічних і неорганічних сполук, приймає участь у процесах іонізації молекул розчинних речовин. Вода є не тільки середовищем, у якому перебігають біохімічні реакції, але й сама інтенсивно приймає участь у гідролітичних процесах.

Кисень – це проста речовина, утворена Оксигеном, міститься в атмосферному повітрі, у зв'язаному стані Оксиген входить до складу води, кварцу, силікатів, алюмосилікатів, сполук тваринного і рослинного походження. Без кисню неможливі чисельні важливі процеси, наприклад, дихання, окиснення амінокислот, жирів, вуглеводів. Тільки деякі рослини, які називають анаеробними, можуть існувати без кисню.

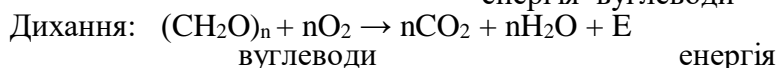
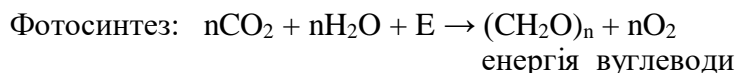
Вперше кисень у чистому вигляді добув шведський хімік К. Шеєле (1772 р.), а у 1774 р. англійський хімік Д. Прістлі добув його з ртутної (II) оксиду.

У вільному стані кисень міститься у повітрі. Крім кисню; у верхніх шарах атмосфери є проста речовина Оксигену озон  $\text{O}_3$ , максимальна концентрація якого зафіксована на висоті близько 25 км від поверхні Землі. Цей озоновий шар утворився з Оксигену під дією ультрафіолетового проміння. Він має дуже важливе значення, оскільки затримує жорстке (короткохвильове) сонячне випромінювання, тривала дія якого смертельно небезпечна для всіх живих організмів. Біогеохімічний цикл Оксигену є планетарним процесом, який зв'язує атмосферу та гідросферу із земною корою. Основними вузловими ланками колообігу є утворення вільного кисню під час фотосинтезу в зелених рослинах, споживання його для здійснення дихання живими організмами, для реакцій окиснення органічних та неорганічних сполук (наприклад, спалення палива) та інші хімічні перетворення, що призводять до утворення таких сполук, як вуглекислий газ, вода, та подальше залучення їх до нового циклу фотосинтетичних перетворень.

Головна функція кисню в організмі – окиснення речовин, що супроводжується виділення енергії. Біологічне окиснення поділяють на вільне окиснення, під час якого енергія, що виділяється переходить у теплову, та спряжене окиснення, коли енергія, що вивільнюється використовується для перебігу ендергонічних реакцій. Для клітини важливо, щоб відбувалася повна утилізація кисню за схемою:



Процеси фотосинтезу та дихання можна представити такими схемами:



Урівноваженість процесу колообігу Оксигену порушується втручанням у нього людини. Промисловість щорічно збільшує споживання кисню, велика кількість якого витрачається на потреби енергетики, транспорту, побуту. У результаті у мегаполісах постійно збільшується концентрація вуглекислого газу, що є однією з екологічних проблем

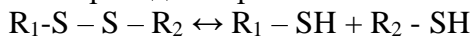
сучасного міста.

**5. Колообіг Сульфуру.** Сульфур достаньно широко розповсюджений у природі (0,03%). Сульфур у природі трапляється у вільному стані (самородна сірка). До найважливіших природних сполук Сульфуру належать сульфати: мірабіліт, або глауберова сіль,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; гіпс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; сульфіді і полісульфіді – цинкова обманка, мідний блиск  $\text{CuS}$ . Великі кількості сульфатів перебувають у розчиненому стані в природних водах. Сульфур входить до складу білкових речовин. Виявлено Сульфур також в метеоритах у вигляді ферум сульфіді. У живих організмах утворюються продукти окиснення Сульфуру – політіонові кислоти із загальною формулою  $\text{H}_2\text{S}_x\text{O}_6$  ( $x=3-6$ )

Ці продукти мають протимікробну активність. Таку властивість очищеної сірки використовують для боротьби із хворобами рослин.

За вмістом в організмі вищих тварин (0,16%) Сульфур відносять до макроелементів. Наприклад, добова потреба дорослої людини у цьому елементі складає 4-5 г. Сульфур входить до складу багатьох біомолекул - білків, амінокислот (цистеїну, цистину, метіоніну та ін.), гормонів (інсуліну), вітамінів (вітамін В<sub>1</sub>). Багато Сульфуру міститься у каротині волосся, кістках, нервовій тканині.

Амінокислоти, що містять Сульфур, характеризуються наявністю тіолових – SH-груп або наявністю дисульфідних зв'язків – S-S- Під час окиснення тіолових груп утворюються дисульфідні зв'язки та, навпаки, під час відновлення зв'язків -S-S- утворюються SH-групи, тобто такі переходи зворотні:



У деякій ступені цей перехід захищає живий організм від радіаційних ушкоджень. У живих організмах Сульфур, що входить до складу амінокислот окиснюється. Кінцевими продуктами цього процесу є сульфати. Окрім того, утворюються тіосульфати, елементарна сірка і політіонові кислоти.

Сульфатна кислота, що утворюється в організмі приймає участь у знешкодженні отруйних сполук – фенолу, крезолу, індолу, які утворюються у кишковому тракті із амінокислот. Сірчана кислота зв'язує деякі ксенобіотики, наприклад, лікарські препарати та їх метаболіти. Зі усіма цими сполуками сірчана кислота утворює відносно нешкідливі речовини, які виводяться з організму.

**6. Колообіг Калію.** Йони Калію відіграють важливу роль у фізіологічних та біологічних процесах, зокрема у передачі нервових імпульсів. Для нормальної роботи серця необхідна певна концентрація Калію в крові. Добова потреба людини в Калії, який надходить до організму з рослинною їжею, становить 2-3 г. Солі Калію необхідні рослинам, особливо технічним культурам.

Геохімічний цикл цього елемента складається з різноманітних процесів, які відбуваються у земній корі. При цьому здійснюється вивітрювання та кристалохімічні перетворення силікатів, звільнення йонів Калію, які відразу поглинаються рослинами. Рослинні організми дають початок колообігу Калію, який приймає участь у процесах фотосинтезу, впливає на обмін вуглеводів, нітрогеновмісних та фосфорних сполук, у значній мірі визначає осмотичні властивості клітин. У зв'язку з тим, що Калій міститься в живих організмах у йонній формі та майже не створює сполук із органічними речовинами, його біогенна міграція дуже велика. Під час відмирання організмів цей елемент швидко дифундує в середовище та знов активно утягується до колообігів живою речовиною суші. Маловивченим залишається колообіг Калію у водному середовищі.

Усі розглянуті біогеохімічні колообіги хімічних елементів охоплюють багатокілометрову товщу земної кори. Рушійною силою їх є діяльність живої речовини. За словами В.І. Вернадського, живі організми, з геохімічної точки зору, утворюють найбільш суттєву та невіддільну частину хімічної організації земної кори.

## ЛЕКЦІЯ 5 «ПОНЯТТЯ ПРО ХІМІЧНІ ЕКОРЕГУЛЯТОРИ»

### 1. Поняття про хімічні екорегулятори

1. **Екорегулятори або хемомедіаторами** – хімічні речовини, посередники між живими організмами, між організмами і середовищем. У відносинах між особами одного виду приймають участь хемомедіатори, які називають феромонами.

На вплив абіотичних факторів середовища (світло, радіація, температура, вологість, рН та ін.) організми можуть відповідати продукуванням специфічних речовин:

- **ендометаболітів** – речовини, які залишаються в організмі та пом'якшують вплив зовнішнього фактора (наприклад, речовини- кріопротектори у зимуючих тварин);
- **екзометаболіти** – речовини, які виділяються у зовнішнє середовище та формують його специфічні властивості (наприклад, гідроген пероксид, який виробляється деякими гідробіонтами – мешканцями водойм, визначає окисно-відновні властивості природної води).

Всю різноманітність взаємодій, які здійснюються в екосистемах можна звести до таких основних функцій.

1. **Захисна функція** – оборона від потенційного хижака або паразита, стримування його харчової активності, відстрашування.

Захисну функцію здійснюють деякі отруйні речовини рослин (наприклад, алкалоїди покритонасінних – кофеїн, хінін, кофеїн, стрихнін та інші гетероциклічні нітрогеновмісні сполуки). У тварин захисну функцію мають спеціальні токсини. Цікаву форму відстрашування або відвернення хижаків мають деякі морські тварини, які мешкають у глибинних водах. Для відстрашування або відвернення хижаків деякі морські тварини, які мешкають у глибинних водах, використовують явище біолюмінесценції, основою якого є хімічні реакції окиснення окремих речовин – люциферинів.

2. **Наступальна функція** – активна дія на організм (харчовий об'єкт). Паразитичні гриби, патогенні бактерії використовують хімічні засоби нападу на жертву (наприклад, ферменти – хитінази, пектінази, які руйнують клітинні стінки рослин). Хижі оси за допомогою нейротоксинів знедвижують свою добичу, а нейротоксини змії (хімічні сполуки пептидної природи) вбивають жертву. Унікальність трутязни скорпіонів полягає у тім, що їх токсини можуть вибірково діяти на один з класів тварин: комах, ракоподібних, ссавців.

3. **Стимування конкурентів** у боротьбі за харчові ресурси, територію, самку та ін. Деякі вищі рослини за допомогою хемомедіаторів придушують ріст та викликають загибель інших рослин – конкурентів (явище аллелопатії). Серед аллелопатичних активних речовин виявлені представники багатьох класів хімічних сполук – органічні кислоти, феноли, терпеноїди, пурини, кумарини та ін.

4. **Атрактивна функція** – притягнення жертв, особин іншого полу, обпилювачів, розповсюджувачів насіння та ін. Хемосигнали атрактивного характеру збуджують харчову, рухливу і (або) репродуктивну активність.

5. **Регуляція взаємодій** у середині будь-якої соціальної групи (популяції, колонії, родині), насамперед поведінки особин усередині групи та їх репродуктивної активності. Речовини, які регулюють поведінку та ряд інших функцій дозволяють зберегти складну структуру суспільних груп (сімей, колоній) і найрозповсюджені у суспільних комах. Наприклад, бджолина матка виробляє спеціальну речовину – "царська речовина" – 9-оксо- $\alpha$ -трансеценова кислота, яка:

- а) притягує робочих бджіл до матки;
- б) пригнічує розвиток яєчників у робочих бджіл;
- в) притягує самців до матки у шлюбний період;
- г) пригнічує активність бджіл у побудові "царських чашечок" для майбутньої матки.

Пуголовки деяких жаб здатні виділяти в середовище екзометаболіти білкової природи, які гальмують ріст та розвиток інших пуголовків популяції, що сприяє більш раціональному використанню кормових ресурсів водоймища.

6. **Постачальна функція** – постачання організмів речовинами- попередниками гормонів, феромонів та ін. Наприклад, гусениці метеликів-данаїд поїдають деякі види молочаїв, які містять алкалоїди пірролізидинової природи. В організмі гусениць ці алкалоїди служать попередниками піролів. Останні відлякують хижаків, а у дорослих метеликів притягують самців. Окрім того, молочаї не поїдаються хребетними в наслідок своєї токсичності. Гусениці без шкоди для себе накопичують токсини молочаю, які зберігаються і у дорослому метелику. Птахи ухиляються поїдати таких метеликів так, як вони отруйні для них.

Хвойні породи дерев, які вміщують  $\alpha$ -пінен, постачають його жукам-короїдам. В організмі жука  $\alpha$ -пінен трансформується у феромони: *цис*- та *транс*-вербеноли.

7. **Формування середовища життя** – речовини, які виділяють організми створюють специфічний фон і визначають деякі властивості середовища. Водні мешканці (гідробіонти) виділяють до середовища багато екзометаболітів. Деякі з них формують важливі специфічні властивості певного водного середовища. Токсини, які виділяються синьо-зеленими водоростями під час "цвітіння" водоймищ роблять непридатним середовище життя для більшості риб, молюсків та членистоногих. Деякі гідробіонти виділяють речовини-антиоксиданти (речовини, які перешкоджають окисненню), а також гідроген пероксид, який впливає на окисно-відновні властивості природної води.

8. **Індикаційна функція** – мічення територій, орієнтація в просторі. До цієї групи відносять речовини, які виконують роль здержування активності конкурентів, а також всі хемомедіатори, які допомагають живим організмам орієнтуватись в просторі. Наприклад, суміш речовин путресцину та кадаверину є маркером індивідуальної території у рудих лисиць.

9. **Попереджаюча функція.** Наприклад, у суспільних комах відкриті численні "феромони тривоги". Деякі види клопів та мурашок при небезпеці виробляють і викидають  $\alpha$ -гексаналь. Мурашина кислота звичайних мурашок виконує подвійну функцію: це сигнал тривоги та одночасно засіб захисту.

10. **Адаптаційна функція** – адаптація до дії абіотичних факторів. У зимуючих тварин, а також у полярних морських риб знайдені особливі білки-антифризи – глікопептиди, які блокують кристалізацію внутрішньоклітинної води. Вони запобігають утворенню льоду майже під час охолодження тіла тварини до  $-15^{\circ}\text{C}$ . Додатковими антифризами для зимуючих комах є багатоатомні спирти. Кріопротектори (наприклад, дисахарид трегалоза й амінокислота пролін у комах) перешкоджають різким зменшенням (колапсу) об'єму клітин під час заморожування. У жаб роль кріопротекторів відіграє глюкоза, що утворюється з глікогену печінки безпосередньо перед зимівлею.

Багато хемомедіаторів у природі є поліфункціональними, тобто їх не можна віднести до будь-якої групи. Питання про виникнення складних систем хемокомунікації у природі пов'язано з питанням еволюції органічного світу та виникненням пристосувань (адаптацій).

У природі зустрічається явище біохімічної конвергенції, коли різні групи організмів у процесі еволюції забезпечуються ідентичними хемомедіаторами. Наприклад, кропива (покритонасінні), шершні (комахи) і восьминоги (головноногі молюски) використовують однакову "хімічну зброю" – суміш ацетилхоліну та гістаміну: Наведемо ще один приклад, що характеризує складність природних хемокомунікацій. У антилоп-куду, які мешкають у Південній Африці основною їжею є листя акації. Акації, як і багато інших рослин, виділяють таніни (дубильні речовини), що захищають рослини від поїдання. Коли чисельність антилоп збільшується і листя акацій надмірно виїдаються тваринами, рослини посилюють виробництво таніну, від чого листя стають гіркими. Антилопи вибирають акації з найменшою концентрацією таніну, однак в екстремальних випадках, наприклад, під час посух, тварини змушені поїдати токсичне листя. У результаті багато тварин гине (танін у

великих кількостях блокує ферменти печінки).

Листя, котре поїдається тваринами виділяє етилен ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ), що, у свою чергу, є сигналом для сусідніх акацій. Завдяки цьому сигналові здорові дерева посилюють виділення таніну, раніше ніж до них доберуться антилопи.

## ТЕМА 6

### «РЕЧОВИНИ-ЗАБРУДНЮВАЧІ ДОВКІЛЛЯ»

1. Класифікація забруднювачів (ксенобіотики, екотоксиканти, екзогенні речовини, канцерогени).
2. Характеристика найрозповсюджених канцерогенів біосфери.
3. Шляхи трансформації поллютантів у біосфері.

З природних джерел людиною синтезовано та виділено понад 6 млн речовин. Ця цифра щорічно збільшується на 5%. Серед таких речовин антропогенного характеру є мутагени, канцерогени, тератогени.

Одним із найважливіших питань хімічної екології є дослідження перетворень, які відбуваються з антропогенними речовинами у екосистемах різного ієрархічного рівня, біотрансформації останніх у живих організмах та механізми їх шкідливої дії на організми, екосистеми та біосферу. У літературі з проблем екології зустрічається ряд понять, які необхідно знати для чіткого розуміння сучасних проблем довкілля.

**Ксенобіотики** (від грец. *ксенос* ~ чужий, *біос* - життя) - речовини, які чужерідні відносно живих організмів і не входять до природних біогеохімічних циклів. Їх появу у біосфері пов'язують з діяльністю людини.

**Поллютанти** (від лат. *поллюціо* - забруднення) - речовини, які забруднюють середовище життя, синонім - забруднювачі.

**Екотоксиканти** (від грец. *ойкос* — дім, *токсикон* - отрута) - отруйні речовини антропогенного походження, які викликають серйозні порушення у структурах екосистем.

**Суперекотоксиканти** (від лат. *супер* ~ зверх, над) — речовини, які мають сильну токсичну дію поліфункціонального характеру. Для суперекотоксикантів (СЕТ) фактично втрачає значення поняття гранично допустимої концентрації (ГДК). Крім того, вони різко збільшують чутливість живих організмів до інших, менш токсичних ксенобіотиків.

**Екзогенні речовини** (від грец. *екзо* ~ зовні, генезис - походження) - речовини, появу яких пов'язують з діяльністю людини (термін підкреслює неприродне походження речовин).

Серед різноманіття хімічних речовин, які надходять до біосфери найбільш шкідливими є *канцерогени* - речовини або фізичні агенти, які пригнічуючи діють на еритроцити крові і сприяють розвитку злоякісних утворень. Канцерогенні речовини поділяють на дві основні групи — істинні канцерогени та інші хімічні речовини, які діють на організм подібним чином. До істинних канцерогенів належать поліциклічні ароматичні вуглеводні, нітросполуки та ряд інших хімічних сполук. Вони впливають на живу тканину таким чином, що здійснюється злоякісна трансформація клітинних елементів без розвитку тяжких токсичних явищ у тканинах, без відомих протягом довгого часу тканинних змін, які виявляються тільки на найпізніших стадіях процесу утворення злоякісних пухлин. Майже мікрограми таких речовин здатні викликати розвиток пухлин.

Найсильнішим канцерогеном серед класу поліциклічних ароматичних вуглеводнів є бенз(а)пірен. Утворення поліциклічних ароматичних вуглеводнів відбувається під час

переробки нафти, кам'яного вугілля, сланців, під час спалення їх в опалювальних системах промислового та побутового призначення.

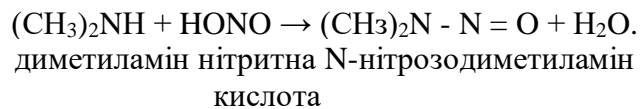
Сучасний природний рівень бенз(а)пірену в біосфері характеризують такі показники: атмосферне повітря, мкг/м<sup>3</sup>: над континентом - 0,0001-0,0005, над океаном - 0,00001; ґрунт, рослинність, мкг/кг сухої маси - до 1-5; прісні водоймища: вода, мкг/л - близько 0,0001, донний пісок та водні рослини, мкг/кг сухої маси - до 1-3.

Деякі рослини та тварини є «біологічними осередками» для ряду токсичних речовин, у тім числі канцерогенних вуглеводнів. Наприклад, для бенз(а)пірену такими осередками є свіжа морська риба (особливо камбала, тріска), овочі (картопля, салат).

Цікавий факт, що порівняно з первинною в організмі сучасної людини майже у 70 разів збільшився вміст Кадмію, у 17 разів - Плюмбуму, у 19 разів - Меркурію та у 40 разів Феруму.

Нітрозосполуки - один з класів хімічних речовин, що належать до канцерогенних. У повітрі житлових приміщень джерелами нітрозосполук є тютюновий дим, опалювальні системи, газові плити, каміни.

В організмі людини нітрозосполуки можуть утворюватися під час взаємодії вторинних амінів із нітратною кислотою або її солями:



Багато пестицидів у процесі метаболізму утворюють нітрозосполуки. Серед них: атразин, діамінозид, димефокс, ландрил, прометрин, симазин, тирам, фенурол, цирам, етіюфенкарб та ін., разом близько 35 речовин.

Під час технологічної переробки харчових продуктів та кормів у них здійснюється синтез канцерогенних нітрозосполук з їх попередників (нітратів, нітритів, амідів, амінів та ін.). У процесі зберігання рослинних продуктів, особливо за несприятливих умов, а також при технологічній обробці на консервних заводах утворюються нітрузо сполуки. Так, під час сушіння і концентрування трав вміст таких сполук збільшується від 0 до 150 мкг/кг; у беконі та консервах - до 100-200 мкг/кг, у окремих копчених ковбасах, де багато спецій - до 1600 мкг/кг, у копченій та солоній рибі - до 110 мкг/кг.

На речовини-забруднювачі в екосистемах діє комплекс біотичних та абіотичних факторів середовища, результатом чого є трансформація цих сполук.

Трансформація поллютантів і ксенобіотиків може здійснюватись двома шляхами:

- 1) хімічними перетвореннями під дією світла, окисно-відновних властивостей середовища, температури, радіації та ін.,
- 2) біохімічними перетвореннями усередині живих організмів (біотрансформація). Продукти трансформації можуть мати змінену екологічну роль та біологічну активність відносно живих організмів.

Проходячи біотрансформацію, забруднювачі вже в інших формах знову потрапляють в екосистему з виділеннями тварин та з частками рослин, що відмерли і можуть далі трансформуватись.

За просторовим розповсюдженням (розміру територій) забруднення класифікують на:

- глобальні (фоново-біосферні, наприклад, газоподібні речовини CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, хлорофлуоровуглеводні та ін., що визначають парниковий ефект);
- регіональні;



- локальні;
- точкові.

За силою та характером дії на довкілля забруднення поділяють на:

- фонові;
- імпульсні (від англ. *імпект* - удар; синонім - залпові);
- постійні (перманентні);
- катастрофічні.

За джерелами виникнення забруднення розділяють на:

- промислові (наприклад, SO<sub>2</sub>);
- транспортні (наприклад, альдегіди викидів автотранспорту);
- сільськогосподарські (наприклад, пестициди);
- побутові (наприклад, детергенти синтетичних мийних засобів).

Одна з проблем, що пов'язують з появою в екосистемах речовин антропогенного походження - це порушення полютантами хімічної комунікації між живими організмами. Явище розриву "хімічного контакту" між організмами можна у деяких випадках використовувати для блага людини, наприклад, у боротьбі з шкідниками сільськогосподарських культур, лісів.

Уведення в екосистему екзогенних речовин, які імітують статеві феромони комах призводить до їх дезорієнтації та порушення процесів спарювання. Так, синтетичний аценол (суміш трьох речовин - цис- і транс-додеценіацетатів та додеканолу) з успіхом використовують для дезорієнтації деяких видів плодожерок: сливової і яблучної. Знайдена можливість порушення хемокомунікації у твердокрилих такими забруднювачами, як гексанол, фенол, валеріанова кислота, алкани з числом атомів Карбону більш за 15.

Існують також ксенобіотики, які не підлягають біотрансформації або розкладаються у природі дуже повільно, або такі, які не можуть руйнуватись (наприклад, атоми металів).

## ЛЕКЦІЯ 7

### «ТОКСИЧНІСТЬ РЕЧОВИН. СТАНДАРТИ ЯКОСТІ СЕРЕДОВИЩА»

1. Закономірності, що визначають ступінь токсичності елементів.
2. Характеристика токсичних сполук деяких елементів за їх джерелами, шляхами постачання у довкілля та впливом на здоров'я людини.

*Токсичність* - властивість деяких хімічних елементів, сполук і біогенних речовин згубно впливати на живі організми (рослини, тварини, гриби, мікроорганізми) і здоров'я людей (бенз(а)пірен, важкі метали, кислоти, оксиди нітрогену, сульфуру). Токсичність характеризується дозою речовини, яка викликає визначену ступінь отруєння.

У разі інгаляційних отруень доза дорівнює добутку  $C \cdot t$ , де  $C$  - концентрація парів (в мг/м<sup>3</sup>);  $t$  - час вдихання (у хв).

Під час ураження іншими шляхами (внутрішньовенний, внутрішньом'язовий, через шлунково-кишковий тракт, шкіру та ін.) доза оцінюється кількістю речовини у мг на 1 кг живої маси.

Розрізняють:

- серенньосмертельні (летальні) дози:
  - 1)  $LC_{50}$  - у разі інгаляційного отруєння;
  - 2)  $LD_{50}$  ( $LD_{50}$ ) - у разі інших видів отруєння;

- порогові дози:
  - 1)  $PC_{t10}$  - у разі інгаляційного отруєння;
  - 2)  $PD_{10}$  ( $ПД_{10}$ ) - у разі інших видів отруєння.

Цифри в індексі показують імовірність (у %) загибелі організмів для смертельних доз або появи ознак отруєння для граничних. Токсичність визначають, проводячи досліди на тваринах з використанням статистичних методів.

Якість довкілля, його відповідність вимогам нормальної життєдіяльності людини характеризують екологічні стандарти, їх розділяють на екологічні і виробничо-господарські (рис. 5).

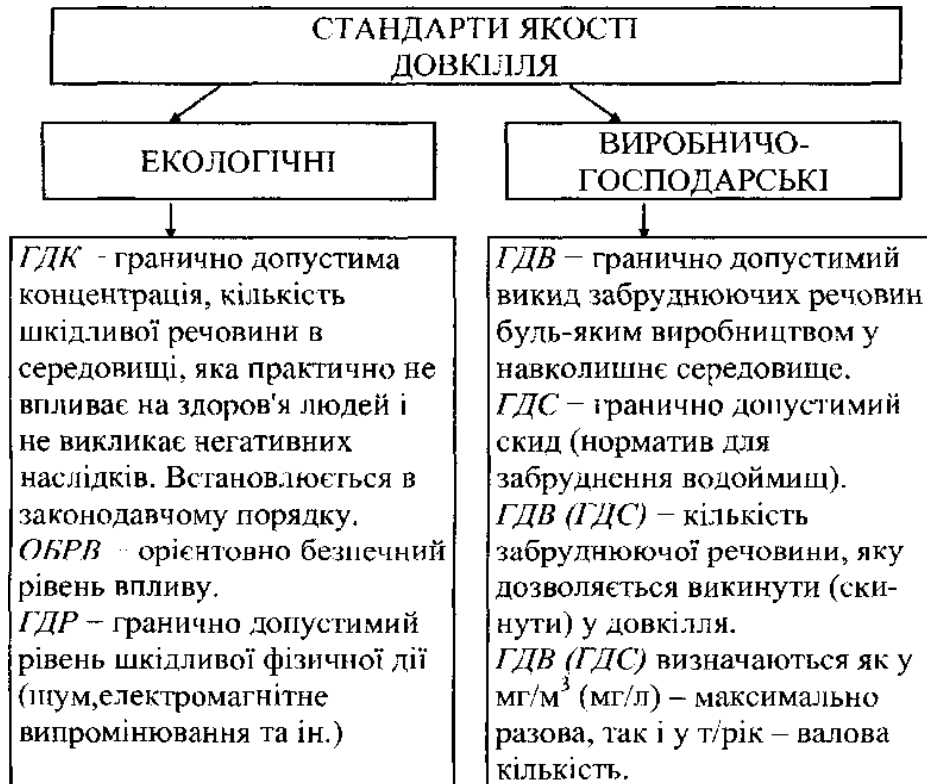


Рис. 5. Стандарти якості довкілля [7]

Існують декілька класифікацій елементів та їхніх сполук за мірою токсичності.

Існують закономірності, які визначають ступінь токсичності будь-якого елемента або його сполучення.

1) Деякі елементи токсичні майже в дуже малих дозах, наприклад, Меркурій і Кадмій. Для інших токсичність проявляється лише після перевищення певного рівня їх вмісту в їжі, наприклад, для Купруму, Цинку, Ніколю. Надзвичайно токсичний Селен повинен бути присутній у їжі в кількості 0,1-0,2 млн частки. За його відсутності в кормах у тварин розвивається м'язова дистрофія і некроз тканин печінки, у той же час, майже незначне перевищення допустимої дози Селену приводить до важких токсикозів.

2) Токсичність залежить від хімічного стану елемента, від форми, у якій він існує в живій клітині. Так, наприклад, для Меркурію токсичність значно підвищується в ряду:



Це пояснюється тим, що алкильовані форми Меркурію краще розчинні в біологічних рідинах.

3) За природних умов відносно нешкідливі речовини можуть перетворюватися на токсичні. Деякі забруднювачі, трансформуючися у живій клітині, утворюють більш стійкі токсичні сполуки. Наприклад, поліциклічні ароматичні вуглеводні під дією ферментів перетворюються на канцерогенні епоксиди.

4) Токсиканти та природні отрути мають різні механізми дії на живі організми. Серед таких механізмів можна назвати передачу нервового імпульсу (наприклад, у фосфороорганічних сполук і нейротоксинів деяких змій). Деякі токсиканти, такі, як сполуки Кадмію пригнічують активність життєво важливих ферментів, порушуючи процеси обміну речовин. Особливо шкідливими слід уважати ті речовини, мішенню яких є генетичний апарат клітини, молекули ДНК. Такі сполуки називають *мутагенами*, а їх дія називається *тератогенним ефектом*. Багато випадків тератогенезу трапляється з рослинами при використанні в сільському та лісному господарстві хімічних препаратів. Дефекти розвитку андроцею та пилки звичайної спостерігаються під час дії на них етрелу - препарату, який викликає чоловічу стерильність. Виродливості коренів з явищами поліплодії у місцях закладення бокових коренів з'являються під дією трифлураліну. Важкі тератологічні наслідки у рослин викликають препарати гербіцидної дії (2,4-Д, симазин, атразин). Обробка цими препаратами посівів приводить до тератогенезу як вегетативних, так і генеративних органів бур'янистої рослинності.

5) Для деяких токсикантів слід урахувати явище біологічного накопичування у харчових ланцюгах. Наприклад, у рибі концентрація Меркурію може бути у 1000 разів більша, ніж у водоймах, з яких ця риба добута. Людина є кінцевою ланкою цього харчового ланцюга, акумулюючи в своєму Алюміній; нирки — Кадмій, Меркурій, Манган; Кишечник — Станум; слизова очей — Барій; передміхурова залоза — Цинк, Стронцій; Мозок — Купрум. організмі сполуки Меркурію. Прикладом є масове отруєння в Японії меркурій органічними сполуками у 1954 р. Окрім накопичування в харчових ланцюгах, існує особливий, ще недостатньо вивчений тип накопичування, коли кумуляція окремого елемента здійснюється вибірково певною тканиною або органом. Наведемо приклади: волосся і нігті здатні накопичувати Арсен, Ванадій, Меркурій, Талій,

6) Токсичність багатьох елементів може проявлятися при незвичайних умовах. Так, один з найрозповсюджених металів - алюміній - раніше ніколи не розглядався як токсикант. Але в зв'язку з проблемою кислотних дощів іони алюмінію ( $Al^{+3}$ ) стали обмежувати врожайність сільськогосподарських культур, тому що на кислих ґрунтах доступність алюмінію збільшується і він починає проявляти шкідливу дію на рослини, а через них на травоядних тварин (хвороба "трав'яний стовбняк").

7) Ступінь стійкості різних організмів до тих або інших елементів та їх сполук різна. У деяких випадках будь-який вид або група організмів має особливе "тяжіння" до окремого елемента, виступаючи до нього в ролі накопичувача.

У табл. 2 наведено характеристику деяких токсичних елементів.

Таблиця 2

Характеристика токсичних та потенційно токсичних сполук та їх дії на організм людини [7]

Забруднювач	Основне джерело постачання у середовище	Основний шлях постачання у середовище	Вплив на здоров'я людини
Алюміній	Алюмінієва промисловість, спалення вугілля	З повітрям	Флюороз зубів, специфічні ушкодження кісток (кістковий флюороз)
Берилій	Промисловість, спалення вугілля	З повітрям	Специфічне ушкодження легень, збільшення лімфатичних вузлів, виснаження

Ванадій	Спалення нафти, вугілля, промислове виробництво	З повітрям	Захворювання серцево-судинної системи
Оксиди карбону	Промисловість, автотранспорт, енергетика	З повітрям	Карбоксигемоглобінемія, ушкодження ЦНС, порушення жирового, вуглеводного, вітамінного обміну
Ферум	Промислове виробництво	З водою, їжею	Цироз печінки, захворювання кровоносної системи
Кадмій	Виплавка кольорових металів	З водою, повітрям, їжею	Хвороби нирок, остеомаліяція, рак передміхурової залози, анемія, підвищення кров'яного тиску, мутагенна і канцерогенна дія
Манган	Виплавка металів, добрива, рідке паливо, лінолеум, сірники, піротехнічні вироби	З повітрям	Ушкодження ЦНС, летаргія, синдром Паркінсона, пневмонія
Купрум	Промисловість, спалення палива, добрива, барвники	З водою, їжею	Пневмонія, гепатити
Молібден	Ґрунт, природні води, виплавка металів, скло, мастила, барвники	З повітрям, їжею, водою	Порушення ЦНС, подагра
Арсен	Промисловість, пестициди, добрива, пиво (до 15 мг/л)	З водою, їжею, пивом	Рак легень та шкіри, порушення функцій шлунку, порушення шлунково-кишкового тракту
Ніколь	Промисловість	З їжею, повітрям	Бронхіальний рак, дерматити, інтоксикація, алергія
Нітрати, нітроти	Добрива, відходи тваринництва, стічні води	З водою, їжею	Метгемоглобінемія
Нітросполуки	Добрива, пестициди, харчові добавки	З водою, їжею	Рак, мутагенна та тератогенна дія
Меркурій	Пестициди, спалення органічного палива	З водою, повітрям, їжею	Інтоксикація, параліч, психічна неповноцінність немовлят

## ЛЕКЦІЯ 8

### «ХІМІКО-ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ АТМОСФЕРИ»

1. Будова та склад атмосфери.
2. «Парниковий ефект» атмосфери - причина зміни клімату?
3. Проблема озонного шару планети. Хімізм руйнування озону. Хімічні заходи з відновлення озонного шару.
4. Забруднювачі тропосфери. Загальна характеристика вторинних компонентів тропосфери. Заходи з охорони атмосфери від забруднень.

## 1. Будова та склад атмосфери

Слово *атмосфера* похідне від грецьких *атмос* - пара і *сфера* - куля. Атмосферою називають повітряну оболонку нашої планети. Атмосфера окутує Землю до висоти 2—3 тис. км, непомітно переходячи у міжпланетний простір. Вона складається із суміші газів, яку називають повітрям.

Найнижчий шар атмосфери - *тропосфера* (*тропос* - поворот). Він простягається до висоти 8-10 км у полярних широтах і до 16-18 км біля екватору. Тут зосереджено майже 80% всієї маси атмосфери, найбільша її густина. Температура і тиск повітря в тропосфері знижуються з висотою. Але над тропосферою відбувається зворотний хід температури - температура починає зростати у *стратосфері*. Цей шар простягається до висоти 55 км. Повітря в стратосфері дуже розріджене, часток повітря, які б розсіювали і відбивали світло, що надходить від Сонця, дуже мало. Тому небо в стратосфері виглядає темно-фіолетовим, майже чорним. У цьому шарі дуже мало вологи, тут не випадають опади, лише зрідка з'являються сріблясті хмари. У стратосфері відбувається своєрідна зміна температури: в нижній частині вона не змінюється і становить  $-55^{\circ}\text{C}$ , а в верхній частині - зростає і біля верхньої межі шару досягає  $0^{\circ}\text{C}$ . Така зміна температури пояснюється наявністю в атмосфері озону, який поглинає ультрафіолетове проміння Сонця і при цьому сильно нагрівається. Шар озону знаходиться на висоті 25 км від поверхні Землі.

Над стратосферою знаходиться шар - *мезосфера* (*мезо* - середній) - до висоти 80 км. У цьому шарі знову знижується температура повітря, досягаючи біля верхньої межі  $-80$ — $90^{\circ}\text{C}$ .

Вище над мезосферою до висоти 800-1000 км міститься *термосфера* (*термос* — тепло). У ній температура повітря сильно зростає і досягає на верхній межі до  $+1500^{\circ}\text{C}$ . Це пов'язано з великою швидкістю кінетичного руху часток. Термосфера поглинає рентгенівське випромінювання сонячної корони. Може виникнути запитання, як при такій високій температурі літають космічні кораблі з космонавтами на борту. Висока температура повітря їм не шкодить, тому що тиск низький, молекули й атоми рухаються майже не стикаючись одні з одними. Повітря чинить космічним кораблям малий опір і вони можуть роками залишатись на орбітах.

Вище 1000 км від поверхні Землі знаходиться верхній шар атмосфери - *екзосфера* (*екзо* - зовнішній). Повітря в ній дуже розріджене. Але швидкість руху атомів і молекул дуже велика, досягає другої космічної - 11 км/сек. Це дозволяє їм долати земне тяжіння і розсіюватись в космічному просторі.

**Склад атмосфери.** Повітря складається з постійних і змінних компонентів. До постійних належать компоненти, які становлять основну масу атмосфери - азот, кисень, інертні гази (аргон, ксенон, неон, гелій та ін.).

Найпоширеніший газ — азот. За звичайного тиску людина його не відчуває. Але при вдиханні повітря під тиском понад 3 атмосфер настає стан, який подібний до алкогольного сп'яніння (азотний наркоз). Тому водолази, які працюють на глибині декілька десятків метрів, використовують для дихання спеціальну суміш кисню з гелієм. Азот за звичайного тиску і не дуже високих температурах не вступає в хімічні реакції з іншими елементами. Але під час проходження електричного струму крізь повітря (при блискавках, а таких щорічно відбувається понад 3,5 млрд), утворюється нітроген оксиди, амоніак та ін. нітроген є складовою частиною білків, але живими організмами він засвоюється не безпосередньо з повітря, а за допомогою нітрогенофіксуючих бактерій і водоростей.

Другою за величиною обсягу в атмосфері є досить активна хімічна речовина - кисень, що окиснює різноманітні хімічні елементи, необхідна для існування живих організмів. Значна кількість вільного кисню в атмосфері надходить внаслідок процесу фотосинтезу. Щорічно до атмосфери поступає  $2 \cdot 10^{11}$  т кисню. Кисень живить води світового океану, окиснює органічні і неорганічні речовини, тому його значна частина втрачається. За останні 100 років знищено понад 245 млрд т кисню. Замість нього до атмосфери надійшло 360 млрд т

вуглекислого газу. Споживання кисню збільшується із розвитком промисловості, транспорту. Тільки один літак під час перельоту через Атлантику споживає до 150 т кисню. Кожна людина за добу використовує близько 360 л кисню.

У багатьох регіонах Землі кисню споживається більше, ніж виділяється рослинами під час фотосинтезу. Це відбувається, насамперед, у промислових районах, де кисень витрачається під час спалювання вугілля, газу, нафтопродуктів. Дуже багато кисню споживається у містах з інтенсивним рухом автотранспорту. Але при цьому кількість кисню в атмосфері залишається постійною.

Дослідники пояснюють це тим, що кисень утворюється не тільки під час фотосинтезу. Важливим джерелом кисню є водяна пара, яка у верхніх шарах атмосфери під впливом ультрафіолетового випромінювання розкладається на водень і кисень.

В атмосфері Землі підтримується постійне співвідношення між кількістю кисню і азоту. Це досягається за рахунок рівноваги між процесами виділення вільного азоту і кисню живими організмами та їх поглинанням під час перебігу хімічних реакцій.

Інертні гази займають невелику частку обсягу атмосфери (тисячні і мільйонні частини відсотка). Їх кількість постійна і за звичайних умов вони у хімічні реакції не вступають.

В атмосфері є також компоненти, кількість яких постійно змінюється. Це - вуглекислий газ, водяна пара, озон, аерозолі.

Вуглекислого газу в атмосфері небагато - 0,03% обсягу, але його роль надзвичайно велика у функціонуванні географічної оболонки. Він є основним будівельним матеріалом для створення органічної речовини під час фотосинтезу. Частина його повертається в атмосферу внаслідок розпаду органічної речовини, а дещо менша частина залишається у земній корі у вигляді вугілля, нафти, газу та ін. Його кількість в атмосфері постійно поповнюється внаслідок виверження вулканів, діяльності людини (спалювання різних видів палива, промислового виробництва). Кількість CO<sub>2</sub> у повітрі непостійна. Вчені вважають, що 2-3 млрд років тому вуглекислий газ був основним у складі атмосфери. Але значна його кількість повернулася у земну кору, коли утворилися моря та океани, а також була поглинута зеленими рослинами.

Збільшення кількості вуглекислого газу в повітрі спостерігається із середини XIX ст., коли швидкими темпами почала розвиватись промисловість. Тільки під час згоряння палива щорічно в атмосферу виділяється не менше 10<sup>10</sup> т вуглекислого газу. Із розвитком промисловості кількість викидів цього газу збільшиться, і якщо не будуть прийняті ефективні заходи проти забруднення, то за 10-20 років викиди становитимуть 40-43 млрд т на рік.

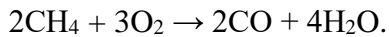
Атмосфера змінювалась протягом земної історії. Декілька мільярдів років тому вона складалась з CO<sub>2</sub> і N<sub>2</sub> та водяної пари; кисень з'явився в атмосфері 1,5-2 млрд років тому в наслідок активної діяльності ціанобактерій. З появою зелених фотосинтезуючих рослин вміст O<sub>2</sub> став збільшуватись і за останні близько 0,5 млрд років залишається приблизно на однаковому рівні.

У результаті промислової діяльності перед людством постали такі проблеми:

- проблема "кислотних дощів";
- зменшення і перфорація озонового шару, який захищає Землю від ультрафіолетового випромінювання Сонця;
- потепління клімату, що пов'язано із накопичуванням в атмосфері газів, які поглинають інфрачервоні промені і перешкоджають їх розсіюванню;
- "парниковий ефект";
- корозія матеріалів на відкритому повітрі;
- фотохімічний смог у промислових містах та ін.

Перераховані проблеми пов'язані зі зміною концентрації другорядних компонентів атмосфери, таких як: сульфур(IV) оксид  $\text{SO}_2$ , нітроген оксиди -  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ , метан -  $\text{CH}_4$ , флуорохлоро- вуглеводні (наприклад,  $\text{CFCl}_3$ ,  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ , які називають фреонами).

Зміни у складі атмосфери можуть мати не тільки антропогенні, але й природні причини. Наприклад, постачання в атмосферу карбон(II) оксиду, який легко утворюється в атмосфері під час окиснення метану за схемою:



Природні джерела газів, що надходять щорічно до атмосфери складають значно більшу частину, чим антропогенні джерела (табл. 3). Це зрозуміло, якщо згадати, що ці процеси є часткою біогеохімічних циклів елементів. Однак, саме емісії (викиди) газів-забруднювачів є тією "краплею", яка переповнює і порушує баланс атмосфери.

Таблиця 3

**Співвідношення природних і антропогенних джерел газів-забруднювачів, які щорічно надходять до атмосфери [7]**

Газ-забруднювач	Приблизна частка (в %)	
	Природні джерела	Антропогенні джерела
Карбон(II) оксид ( $\text{CO}$ )	70-80	20-30
Сульфур оксиди ( $\text{SO}_x$ )	55	45
Нітроген оксиди ( $\text{NO}_x$ )	80-90	10-20
Вуглеводні	85	15

## 2. "Парниковий ефект" атмосфери - причина зміни клімату?

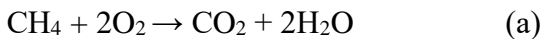
Як відомо, в історії Землі мали місто льодовикові періоди. Протягом таких льодовикових періодів, коли відбувались заledenіння, температури були нижче на  $10^\circ\text{C}$ . Мова йде про середньоглобальні температури, сезонні могли змінюватись ще більше. Це велика амплітуда для клімату.

Нині ситуація така: за останні сто років середньо-глобальна температура приземного шару повітря збільшилась на  $0,6^\circ\text{C}$ . Людина практично не відчуває таку різницю. Ми звикли до добових коливань температури із амплітудою  $10-20^\circ\text{C}$ , тому  $0,6^\circ\text{C}$  уявляються нами несерйозними змінами. Однак, наприклад, льодовитість Арктики через збільшення глобальної температури на  $0,6^\circ\text{C}$  значно зменшилась. Теж саме можна сказати про довжину гірських льодовиків. Все це результат такої незначної зміни середньоглобальної температури, але протягом довгого часу.

Цікаво, що з XVII по XIX ст. спостерігався так званий малий льодовиковий період - період більш холоднішого клімату порівняно з попереднім. Загальне середнє похолодання було близько  $2-3^\circ\text{C}$ . Потім малий льодовиковий період закінчився приблизно у 1865 р. Поступово почалося потепління, яке тривало до 1940 р., потім за невідомими причинами почалося похолодання, яке продовжувалось до 1965 р. З 1965р. середньоглобальна температура знов почала швидко зростати. Останній ріст температури пов'язують з впливом людини.

Сьогодні вважають, що основну роль тут має антропогенний вплив: людина спалює паливо, в результаті утворюється вуглекислий газ, який потрапляє в атмосферу та збільшує парниковий ефект, тому нижча частина атмосфери стає тепліше.

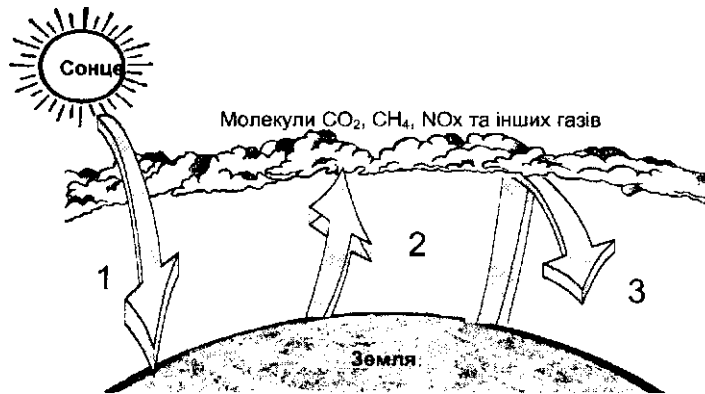
Наведемо схеми реакцій повного (а) та неповного (б) згоряння основного компоненту виковного палива:



Концентрація вуглекислого газу постійно зростає. Якщо на початку століття вона складала приблизно 280 часток на мільйон, то нині - 355, тобто зросла на 20% усього за сто років. Зростання концентрації вуглекислого газу до так званого "парникового ефекту" приводить до того, що поверхня Землі перестане охолоджуватись і починає перегріватися, як ґрунт у парнику. Це можливо тому, що атмосфера стає подібною на скло оранжереї. Вона пропускає до Землі сонячне проміння, яке нагріває поверхню, а те випромінювання, яке відбивається від поверхні, поглинається вуглекислим газом. Це приводить до зростання температури повітря і зміни клімату в глобальному масштабі. Таке потепління може спричинити зміщення природних зон, внаслідок танення льодовиків у полярних районах підніметься рівень води Світового океану, зміняться обриси материків, окремі території зникнуть під водою та ін.

Карбон(IV) оксид затримує половину тепла в атмосфері, однак у нього є конкурент - метан ( $\text{CH}_4$ ) - більш ефективний поглинач інфрачервоного випромінювання. Концентрація метану в атмосфері почала збільшуватися близько понад 300 років тому. Аналіз повітря, яке міститься у зразках глибинного льоду Антарктиди і Гренландії показав, що концентрація атмосферного метану зростає щорічно на 1%, або в 2 рази швидше, ніж вуглекислого газу. Як виникає "парниковий ефект" показано на рис. 6.

Інтенсивне вирощування рису, розведення худоби, спалення біомаси в тропічних лісах і саванах, діяльність бактерій на звалищах відходів, втрата газу під час добування вугілля і нафти - це джерела надходження метану до атмосфери в значних кількостях.



- 1- Видиме світло від Сонця досягає поверхні Землі та нагріває її
- 2- Земля віддає частину поглиненої енергії до атмосфери у вигляді інфрачервоного випромінювання
- 3- Частина інфрачервоного випромінювання поглинається  $\text{CO}_2$  та іншими газами і таким чином уловлюється атмосферою. Ще частина віддається або перевипромінюється назад до Землі.

**Рис. 6. Парниковий ефект атмосфери [7]**

Головний парниковий газ атмосфери - водяна пара. Її внесок у парниковий ефект - близько 70%. На інші парникові гази -  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ , фреони - припадає 30%. Унаслідок концентрації водяної пари утворюються хмари, випадають опади. Вміст водяної пари змінюється як з висотою, так і з географічною широтою, він неоднаковий також у різні



періоди року. Основна маса водяної пари зосереджена в тропосфері і швидко знижується з висотою. У стратосфері вміст пари становить тільки 2-4 мг на 1 кг повітря. Середня абсолютна вологість повітря біля земної поверхні у тропіках становить 3%, а у полярних широтах - 0,00002%. Коливається вміст вологи у повітрі в одній і тій же місцевості залежно й від погоди.

Нині вчені працюють над проблемою фіксації вуглекислого газу, як одного з «парникових» газів за допомогою хімічних сполук. Наприклад, було встановлено механізм фіксації вуглекислого газу рослинами за допомогою розповсюдженого природного магнієвмісного ферменту рибулозоди-фосфаткарбоксилази. Деякі вчені пропонують синтезувати подібні сполуки у хімічних лабораторіях для зв'язування вуглекислого газу з атмосфери і боротьби з "парниковим ефектом". Один такий штучний замінювач ферменту був одержаний японськими хіміками Н. Катазімою і Ю. Морокою. Це - органічна сполука, до складу якої входять два йони Купруму ( $\text{Cu}^{2+}$ ), які пов'язані між собою гідроксид йонами ( $\text{OH}^-$ ). Кожний йон Купруму пов'язаний також із йоном трисборату.

### 3. Проблема озонового шару планети. Хімізм руйнування озону. Хімічні заходи з відновлення озонового шару

Сонячна радіація, особливо її короткохвильова ультрафіолетова частина, являє собою один з найміцніших факторів зовнішнього середовища, які визначають умови розвитку та існування всього живого на Землі. Відомо, що біологічна активність радіації тим більша, чим коротше довжина хвилі. Тому особливо високу радіологічну активність мають кванти УФ-радіації. Майже невеликої кількості радіації достатньо для швидкого знищення всього живого на земній поверхні. Але атмосфера надійно не захищає біосферу від дії УФ-радіації (рис. 7).

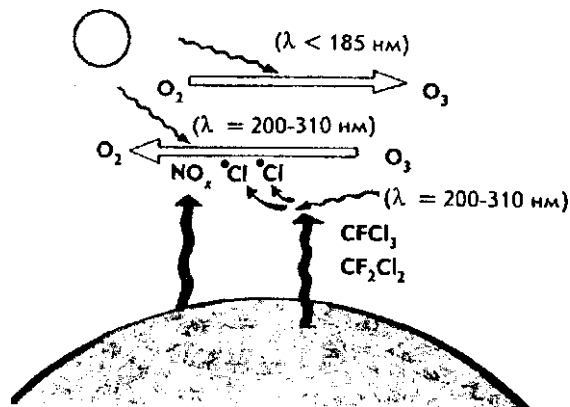


Рис. 7. Схема впливу флуорохлоровуглеводнів та нітроген оксидів на озоновий шар[7]

Питання про озоновий екран, прогнозування його виснаження та наслідків цього процесу торкається глобальних перспектив науково-технічного прогресу, стабільності існування земної екосистеми та, в першу чергу, всього живого на Землі.

Озон - у перекладі з грецької *пахучий*. Це газ, у молекулі якого міститься три атоми Оксигену –  $\text{O}_3$  (одна з форм існування Оксигену у вільному стані). Його запах можливо відчуту після грози, бо у нижньому шарі атмосфери він утворюється під час розряду блискавок, а в стратосфері він утворюється під дією Сонця.

Озону в атмосфері дуже мало — мільйонні частки відсотка. Найбільша кількість цього газу на висоті 20-25 км - 0,001%. На цій висоті озон утворює оболонку, яку називають озоновим "екраном" Землі. Товщина цього шару - лише кілька міліметрів. У малих

кількостях озон дуже корисний для живих організмів. Люди відчують помітне покращення самопочуття при диханні "озоновим" повітрям після грози. Але коли кількість озону значно збільшується, то відбувається зростання захворюваності людей. Невелике зменшення товщини озонового шару підвищує ймовірність появи раку шкіри. Зниження цього шару в два рази привело б до згубних наслідків для земного фонду.

Озонова проблема складається з таких аспектів.

1) Цей шар захищає нашу планету від шкідливої дії ультрафіолетового випромінювання Сонця. Малі дози такого випромінювання корисні тим, що сприяють утворенню в організмі людей вітамінів групи "Д", посилюють опірність організму (імунітет). Але у значних дозах це випромінювання здатне вбити живі організми, насамперед людський.

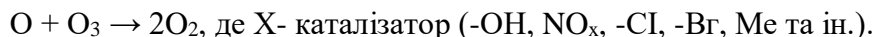
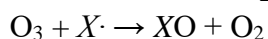
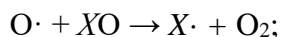
Шар озону, який знаходиться у нижніх шарах стратосфери поглинає шкідливе у значних кількостях ультрафіолетове випромінювання Сонця.

2) В останні десятиліття виникла і швидко розширюється зона з дуже низькою концентрацією озону над Антарктидою. Таку зону було названо "озоною дірою". Причин зменшення озонового шару дуже багато. Наприклад, значну небезпеку для озонового шару становлять нітроген оксиди. У Північній півкулі кількість озону зменшилась на 3-6%. Після того як основні держави світу домовились про припинення ядерних випробувань, ця небезпека зникла.

Втрачається озон також і під час запусків штучних супутників Землі, бо при цьому утворюється дірка на кілька кілометрів, яка зникає надзвичайно повільно.

У процесі зменшення озону беруть участь хлор та його сполуки. До висот озонового шару піднімаються сполуки Хлору, джерелами яких є хімічні заводи, а також робота побутових приладів. Фреони (багатоатомні хлоро-, броморганічні сполуки такі як: метилхлороформ -  $\text{CH}_3\text{CCl}_3$ , фреони-11 ( $\text{CFCl}_3$ ), -12 ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ), бромистий метил ( $\text{CH}_3\text{Br}$ ), галони - 1301 ( $\text{CF}_3\text{Br}$ ) і 1211 ( $\text{CF}_2\text{ClBr}$ ) широко використовуються, як у промисловості, так й у побуті. Останні потрапляють до атмосфери як розпилювачі, розчинники, холодоагенти у холодильниках і кондиціонерах. Броморганічні речовини широко використовують для гасіння пожеж, у військовій справі, у сільському господарстві. Вони підлягають забороні з 1995 року, але на сьогоднішній день їм не знайдена ефективна заміна.

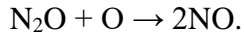
У нижніх шарах атмосфери хлоро-, броморганічні сполуки залишаються інертними. Але під дією сонячного випромінювання у стратосфері фреони розпадаються і під час взаємодії з озоном руйнують його. Хімізм руйнування озону у каталітичних циклах такий:



Найпоширеніші фреони мають великий "час релаксації" (час їх "життя" у стратосфері, який визначається як середній час з моменту надходження в атмосферу або утворення молекули до її фотохімічного руйнування). Наприклад, для фреонів-11, -12 він складає 60 і 120 років відповідно. Таким чином, фреони-11 і -12 майже після припинення їх виробництва і використання будуть присутні в атмосфері ще багато десятків років. Що стосується атомів Броду, то їх озоноруйнуюча властивість у 10 разів більша, ніж атомів Хлору. Окрім того, якщо Хлор руйнує озон на висоті близько 40 км, де його кількість відносно мала, то максимальна дія Броду на озон припадає на шар 14-22 км, який знаходиться близько озонового максимуму. Ученими визначено, що кожний атом Хлору руйнує майже 100000 молекул озону.

Як вже відмічалось, нітроген оксиди також можуть руйнувати молекули озону. Одним з джерел постачання нітроген оксидів до атмосфери є агропромислове виробництво. На грунтах, які оброблено нітратними добривами анаеробні бактерії відновлюють нітрат-йони до молекулярного азоту й нітроген(I)оксиду  $N_2O$ .

Культивовані ґрунти ніби "дихають" цим оксидом, який потрапляє у стратосферу і взаємодіє з атомами Оксигену за схемою:



Як відомо, нітроген(II) оксид є каталізатором руйнування молекул озону.

Таким чином, за декілька десятків років озон перетворився з маловідомої компоненти атмосферного повітря у газ, який має одну з головних ролей у забезпеченні життя на Землі.

Серед хімічних заходів з відновлення озонового шару вчені пропонують наступні:

- збільшення фотохімічного джерела озону шляхом збудження молекулярного кисню і швидкості його фотолізу лазерним випромінюванням у нижніх шарах стратосфери;
- руйнування молекул флуоро-, хлоровуглеводнів у верхніх шарах стратосфери під час газового розряді, який виникає на пересіченні декількох міцних мікрохвильових променів;
- скорочення використання флуоро-, хлоровуглеводнів і пошуки екологічно-безпечних їх замісників.

Зусиллями вчених з 1978 р. США, Канада і Скандинавські країни заборонили застосування фреонів в аерозольних балончиках. У 1988 р. відбулася міжнародна конференція, на якій 24 країни підписали протокол про скорочення виробництва і споживання фреонів. У 1988 р. до протоколу вже приєдналася 31 держава.

Учені, які досліджували озоновий шар, встановили, що кількість озону знижується приблизно на 1% за десятиріччя. Але вже у 1985 р. з'явилися несподівані повідомлення про зменшення озону над Антарктидою за 7 років майже вдвічі. Це явище вивчали вчені усіх країн, які досліджують Антарктиду. Найбільші втрати озону спостерігаються на висоті 16,5 км, де його залишилось 3% від нормальної кількості.

Учені країн світу намагаються звернути увагу урядів і промисловців на захист озонового шару. Вони довели не тільки шкідливість фреонів для озонового шару, але й використання твердого палива у ракетах, домагаються заборони деяких шкідливих для озону хімічних технологій. Окрім того, актуальною є необхідність скорочення використання азотних добрив і прийняття заходів щодо введення екологічно безпечніших методів обробки сільськогосподарських ґрунтів.

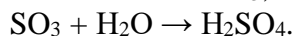
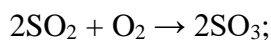
81 країна і ряд міжнародних організацій домагалися прийняття "Хельсінської декларації про захист озонового шару". Учасники погодилися повністю припинити виробництво фреонів та інших галогеновмісних сполук, надати допомогу країнам, які розвиваються, для впровадження екологічно безпечних для озону технологій.

#### **4. Забруднювачі тропосфери. Загальна характеристика вторинних компонентів тропосфери**

В атмосфері, окрім названих газів, є домішки аерозолів - рідких і твердих зважених частинок. Це пил, частинки диму і попелу від пожеж, спалювання палива, виверження вулканів, пилок і спори рослин та ін. У середньому кожний квадратний сантиметр земної поверхні містить близько  $10^9$  аерозольних частинок.

Загальний рівень техногенного забруднення атмосфери досягає близько 1 млрд т аерозолів і газових викидів, а також 300-5000 млн т пилу. Ця кількість поки що становить невеличку частину всієї маси атмосфери. Але інтенсивність забруднення зростає, а основна маса забруднювачів зосереджена у нижніх шарах атмосфери та концентрується у районах нагромадження промисловості і транспорту. Коротку характеристику деяких вторинних компонентів тропосфери наведено у табл. 4.

Сульфур(IV) оксид виділяються переважно теплоелектростанціями і хімічними підприємствами. Сірчистий газ  $\text{SO}_2$  - газ без кольору з різким запахом. Він добре розчиняється у воді, при цьому утворюється сульфатна (сірчана) кислота. Аналогічний процес відбувається і у вологому повітрі. Сульфур(IV)оксид здатний окислюватися у повітрі, утворюючи сульфатну кислоту за схемою:



Окисненню  $\text{SO}_2$  у  $\text{SO}_3$  сприяють:

- оксиди і солі металів у повітрі у вигляді пилу, які виграють роль каталізаторів;
- краплі води, туману;
- фотони сонячного випромінювання (фотохімічне окиснення).

Таблиця 4

### Характеристика вторинних компонентів тропосфери [7]

Компонент	Основні джерела постачання у довкіллі	Концентрація, млн ч.*
Карбон(IV) оксид $\text{CO}_2$	Розклад органічної речовини, виділення океанів, спалення палива	320 у всій тропосфері
Карбон(II) оксид $\text{CO}$	Розклад органічної речовини, промислові процеси, спалення палива	0,05 у незабрудненому повітрі, 1-50 у містах
Нітроген(II) оксид $\text{NO}$	Електричні розряди, робота двигунів внутрішнього згорання, спалення органічної речовини	0,01 у незабрудненому повітрі, 0,2 у промислових містах
Сульфур(IV)оксид $\text{SO}_2$	Вулканічні гази, лісові пожежі, діяльність бактерій, спалення палива, виплавка металів з руд та інші промислові процеси	0,0-0,001 у незабрудненому повітрі 0,1-2,0 у повітрі великих міст
Озон $\text{O}_3$	Електричні розряди, дифузія із стратосфери, фотохімічний смог	0,0-0,01 у незабрудненому повітрі 0,5 у повітрі промислових міст
Метан $\text{CH}_4$	Анаеробний розклад органічної речовини, розведення великої рогатої худоби, втрата природного газу	1-2 у всій тропосфері
Вуглеводні $\text{C}_x\text{H}_y$	Автомобільні вихлопи, спалення органічної речовини, втрата природного газу	3 у повітрі промислових міст

\* Мільйонна частка (млн. ч) - одна молекула компоненту, яка в середньому припадає на мільйон молекул газової суміші, або це близько концентрація 0,001 г/кг.

"Кислотні дощі" завдають значної шкоди довкіллю. Осаді, які містять кислоти ("кислотні" дощі) чинять шкідливий вплив на довкілля. Наприклад, сірчистий газ подразнює слизисті оболонки носа і очей, викликає кашель, спазми в горлі, бронхіт. У великих кількостях цей газ небезпечний для життя. Він екологічно небезпечний і для рослин, особливо фруктових дерев. Також цей газ здатний руйнувати твори мистецтва з мармуру, облицювання споруд (мармур перетворюється на гіпс). Від "кислотних дощів" страждають ліси, часто здійснюється *дефоліація* (штучне скидання хвої або листя).

Сульфатні аерозолі у стратосфері можуть розсіювати ультрафіолетове випромінювання Сонця, тобто таким чином "допомагати" озоновому шару поглинати УФ-промені. Це свідчить про складність взаємодій різних забруднювачів і про необхідність вивчення хімії атмосфери в єдиному комплексі.

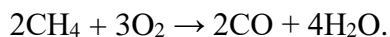
Нітроген оксиди можуть потрапляти у атмосферу в результаті діяльності ґрунтових бактерій (в основному це відноситься до  $N_2O$  і  $NO$ ). Значний внесок в емісію нітроген оксидів робить також господарська діяльність людини. Окрім участі в утворенні "кислотних дощів" нітроген оксиди впливають на процеси формування фотохімічного смогу (слово похідне від англійського *smog* - дим та *fog* - пил) - комплексного забруднення атмосфери, що обумовлено концентрації мас повітря у великих містах.

Автомобільні двигуни внутрішнього згорання - це головне джерело забруднення. Окрім нітроген оксидів  $NO_x$  і озону, в фотохімічному смозі наявні:

- карбон(II) оксид  $CO$  (продукт неповного згорання бензинового палива);
- вуглеводні  $C_xH_y$ ;
- альдегіди та складніші органічні сполуки.

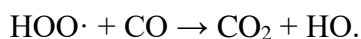
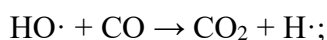
Увесь цей "букет" у сиру погоду знаходиться у повітрі великих міст. Це явище часто спостерігалось у Лондоні, Лос-Анджелесі, Буенос-Айресі, Сан-Паулу, Ріо-де-Жанейро, Мехіко, Анкарі, Токіо, Москві, Санкт-Петербурзі, а на Україні - в містах Придніпров'я і Донбасу (Запоріжжя, Дніпропетровськ, Дніпродзержинськ, Донецьк та ін.). Тепер частішими є фотохімічні смоги. На відміну від звичайних смогів, які утворюються за низької хмарності і високої вологості повітря у холодну погоду, фотохімічні утворюються в ясні, сонячні дні. Вони виникають в забрудненій атмосфері під впливом сонячного випромінювання. При цьому утворюються нові речовини, які є токсичнішими від тих, які попадають до атмосфери. Такий смог різко знижує прозорість повітря, викликаючи подразнення слизових оболонок, носа і рота, загострення легневих та алергічних захворювань. Швидко в'януть овочеві і декоративні рослини. Смог викликає корозію металів, розтріскування фарб, гумових виробів, пошкодження одягу та ін.

Атмосферний карбон(II) оксид  $CO$  утворюється в основному (70%) природним шляхом, головним чином під час неповного окиснення метану:



Утворюється  $CO$  і при неповному згоранні бензину. Легковий автомобіль викидає за годину до  $3\text{ м}^3$  чадного газу, а вантажний - до  $6\text{ м}^3$ . Щорічна частка викидів  $CO$  від неповного згорання палива, автотранспорту, теплових електростанцій складає додатково 20-30%. Але концентрація карбон(II) оксиду в атмосфері підвищується повільно. Це пов'язано з тим, що у природі існують процеси, які приводять до поглинання останнього. Зв'язування  $CO$  у біосфері здійснюється такими шляхами:

- окиснення у  $CO_2$  (частково і дуже повільно);
- поглинення ґрунтовими організмами;
- розчинення в водах океанів;
- дифузія у стратосферу і взаємодія там з більш реакційними молекулами і атомами за схемою:



Чадний газ має дуже шкідливу для людини властивість: він здатний специфічно зв'язуватися із гемоглобіном  $Hb$  крові - білком - переносником кисню в організмі, утворюючи стійкий комплекс карбоксигемоглобін  $HbCO$  (рис. 8). Молекули чадного газу конкурують із молекулами кисню за право зв'язуватися із гемоглобіном крові та перевершують у цьому кисень в 210 разів!

Молекули CO і O<sub>2</sub> дуже схожі за електронною будовою, але CO мають більшу, ніж O<sub>2</sub> хімічну спорідненість до йону Fe<sup>2+</sup> в гемоглобіні.

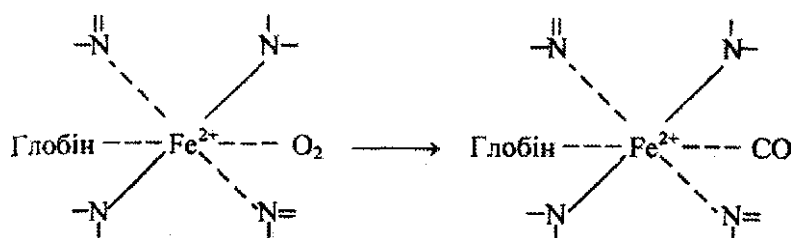


Рис. 8. Схема зв'язування карбон(II) оксиду з гемоглобіном крові

Майже невелика кількість CO здатна виводити з робочого стану велику частину гемоглобіну крові, і організм відповідно одержує менше кисню. Наприклад, людина, яка вдихає кілька годин повітря з вмістом CO всього 0,1%, поглинає його стільки, що більша частина гемоглобіну (60%) зв'язується у комплекс COHb (на стільки ж знижується нормальна функція крові з перенесення O<sub>2</sub>). Цей процес супроводжується шумом у вухах, головокружінням, втратою свідомості. Аналогічній дії CO підлягають і курці. Існує пряма залежність між палінням і рівнем карбоксигемоглобіну в крові. Високий вміст CO в атмосфері мегаполісів сприяє росту серцево-судинних захворювань, у зв'язку з тим, що серце змушено переганяти в більш "жорсткому" ритмі отруєну карбоксигемоглобіном кров.

До забруднювачів атмосфери належать також тверді зважені частинки. Основним джерелом їх надходження до атмосфери є металургійні заводи, будівельна індустрія, транспорт та ін. Проблема цих забруднювачів надзвичайно актуальна. Вони можуть чинити алергічну дію, канцерогенну (азбест), викликати респіраторні захворювання.

Внаслідок забруднення атмосфери великі промислові міста одержують на 15 % менше сонячних променів та на 10% більше опадів у вигляді дощу, граду і снігу.

Встановлено значне (на 25-30%) зниження врожайності більшості сільськогосподарських культур на 2-3 км навколо джерела забруднення. Деякі види рослин реагують навіть на невеликі концентрації забруднювачів. Наприклад, хвойні дерева, горіх, тютюн, конюшина дуже чутливі до сірчистого газу, а цибуля, полуниця, ялина і сосна - до фтору. Відмічено випадки масового падежу худоби і птиці під час смогів. Дуже чутливі до забруднення повітря бджоли.

Тривалий час єдиним способом вирішення проблем забруднення повітря була здатність атмосфери до самоочищення. Механічні частинки і гази розсіювалися у повітрі, випадали на землю з дощем і снігом, а також нейтралізувалися, взаємодіючи з природними речовинами. Однак здатність атмосфери до самоочищення обмежена. Величина і швидкість промислових, транспортних та побутових викидів набагато переважає природні можливості до самоорганізації. Тому важливе значення має переробка відходів промислових підприємств, встановлення на всіх діючих підприємствах газо- і пилоочисних установок, перехід на безвідходні технологічні процеси, вдосконалення двигунів внутрішнього згорання в автомобілях та ін.

Одним з важливих заходів, які необхідно проводити для очищення повітря є озеленення території. При цьому слід враховувати склад шкідливих речовин, бо різні рослини очищують повітря по-різному. Там, де повітря забруднене димом, найкраще садити білу акацію, шовковицю, канадську тополя, а там де пилом - в'яз. Дуже добре очищує повітря від викидів автотранспорту кінський каштан, а від бензину, газу - береза карельська, клен гостролистий, верба плакуча та ін.

Необхідний контроль за концентрацією шкідливих речовин у повітрі на рівні гранично допустимих норм, тобто тих показників, при яких ці речовини не виявляють токсичний ефект.

Забруднення атмосфери - явище глобального масштабу. Атмосфера не знає кордонів і тому для її охорони від забруднення вимагає мобілізації зусиль людей усього світу.

## ЛЕКЦІЯ 9

### ХІМІКО-ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ГІДРОСФЕРИ

1. Вода та її значення для життя на Землі.
2. Основні екологічні проблеми Світового океану.
3. Колообіг води та її баланс на планеті.
4. Джерела забруднення Світового океану.
5. Хімічне забруднення природних вод (забруднення важкими металами, органічними речовинами, пестицидами та ін.).
6. Методи очищення стічних вод.

#### 1. Вода та її значення для життя на Землі

Життя на Землі зародилось у воді. Вона стала первинним середовищем для еволюції органічного світу і входить до складу всіх живих істот. За хімічним складом морська вода, де розвивалось первинне життя, близька до складу крові людини (табл.5).

Таблиця 5

#### Хімічний склад води Світового океану і крові людини [7]

Хімічний елемент	Частка (%) від суми розчинених солей	
	у воді Світового океану	у крові людини
Хлор	55,0	49,3
Натрій	30,6	30,0
Оксиген	5,6	9,9
Калій	1,1	1,8
Кальцій	1,2	0,8

*Гідросфера* - водна оболонка Землі, яка охоплює океани, моря, поверхневі води суші і лід, що становлять разом близько 71% земної поверхні, а також підземні води. Основна маса гідросфери (близько 94% обсягу) зосереджена у морях і океанах, друге місце займають підземні води, третє — сніг і лід. Води суші складають частку відсотка від загального обсягу гідросфери.

Вода входить у великій або малій кількості до складу всього живого. Будь-який організм не може існувати без неї. Організм людини, наприклад, вміщує близько 65% води, хребетних - 60-65%, риб - близько 80%, водоростей - 95-99%, рослин суші - 50-75 %.

Значення води, як однієї з основ буття, розуміли ще вавилонці, єгиптяни, перси, фінікійці та греки. У багатьох філософських системах стародавності вода називалась первинним елементом, началом усіх начал.

Важливе значення води в історії розвитку землеробства. Зрошення і обводнення були надійною основою для виробництва сільськогосподарських культур, що, в свою чергу,

сприяло формуванню потужних державних утворень стародавності. Недаремно значні стародавні цивілізації виникли близько великих річок.

Вода - не тільки елемент природного середовища, але й активний геологічний та географічний фактор. Вона є носієм механічної і теплової енергії, переносником речовини, енергії та інформації. Вода, завдяки своїй рухливості, відіграє важливу роль в обміні речовин і енергії між геосферами та різними географічними районами.

Універсальна роль води в природі пояснюється її своєрідними та багато у чому аномальними фізичними і хімічними властивостями. Завдяки цим властивостям вода визначає не тільки всі процеси у водних об'єктах, але й багато особливостей кліматичних та метеорологічних процесів на Землі.

Академік В.І. Вернадський підкреслював, що вода стоїть окремо в історії нашої планети. Немає природного тіла, яке б могло порівнятися з нею за впливом на хід основних геологічних процесів.

Немає земної речовини - мінералу, гірської породи, живого тіла, яке б її не потребувало. Усі речовини нашої планети - під впливом властивих воді характеристик, її пароподібного стану, її розповсюженості - проникні нею.

## **2. Основні екологічні проблеми Світового океану**

До основних сучасних екологічних проблем Світового океану належать:

1. Видобування визначених видів біологічних ресурсів та їх вплив на коло обігу органічної речовини в океані та порушення зв'язків, що склалися. Переважна більшість найбільш цінних риб все життя або більшу його частину проводять у прибережних водах. Забруднення моря, особливо у прибережних зонах, призводить не тільки до зменшення видів і популяцій, але й до захворювань риб.
2. Експлуатація мінеральних ресурсів у шельфі. Будівельні, наливні роботи призводять до зниження і деградації природних ландшафтів.
3. Вплив гідробудівництва, експлуатації атомних електростанцій.
4. Вплив інтенсивного судноплавства.
5. Вплив плаваючих бурових установок.
6. Розвиток рекреаційних комплексів.
7. Екологічні проблеми, пов'язані з війнами та впливом військового промислового комплексу.

## **3. Колообіг води та її баланс на планеті**

На планеті здійснюється постійний перенос води з одного міста до іншого, у масштабі всієї планети, головним чином між океаном і сушею. При цьому здійснюється зміна агрегатного стану води, що дозволяє підтримувати рівновагу між сумарним випаруванням і випадінням осадів на планеті. Вода з речовинами, що містяться в ній випаровується і повітряними течіями переноситься на десятки, сотні та тисячі кілометрів. Випадаючи у вигляді осадів, вона сприяє руйнуванню гірських порід, робить їх доступними для рослин та мікроорганізмів, розмиває поверхневий ґрунтовий шар і надходить разом із розчиненими органічними та неорганічними речовинами в океани та моря. Підраховано, що з поверхні Землі тільки за 1 хвилину випарується 1 млрд т води і стільки ж випадає назад у вигляді опадів.

Загальна кількість води у поверхневих оболонках Землі, земної кори за даними акад. О.П.Виноградова складає 1 трлн 600 млрд т. Кількість води, яка захоплюється фотосинтезуючими організмами складає 837 млрд т на рік. Період повного обороту всієї води під час утворення живої речовини - 1,9 млн років.

Водний баланс Землі дозволяє кількісно уявити, що величезний процес колообігу води є первинною основою для оцінки ресурсів планети. Для океанічної частки колообігу найбільш характерне випарування вологи, під час якого безперервно відновлюється вміст



водяної пари в атмосфері. Більше 86% вологи надходить до атмосфері за рахунок випарування з поверхні океану і менше 14% - за рахунок випарування з суші.

Важлива риса океанічної частки колообігу води - перенесення великих мас морських вод. При цьому кількість води, яка щорічно переноситься течіями чотирьох океанів, характеризує інтенсивність внутрішнього океанічного водообміну під впливом течій. Є дані про те, скільки років у середньому необхідно для того, щоб всі води кожного з океанів змінились. У Світовому океані для цього потрібно близько 60 років; найменш інтенсивний водообмін Тихого океану (більш 100 років), для Атлантичного океану потрібно близько 50 років, для Атлантичного і Північного Льодовитого океану - 40 років.

Зовсім інша активність обміну, на 3-5 порядків вища, характерна для прісних вод. Особливо інтенсивний водообмін у річках. Обмін руслових річкових вод здійснюється кожні 0,031 роки, тобто 11 діб, або 32 рази на рік. Якщо врахувати, що з річками пов'язано більша частина озер та усі водосховища, загальна активність обміну поверхневих вод суші буде близько 7 років. Висока активність обміну річкових вод - важлива властивість, завдяки якій забезпечуються основні потреби людства у воді.

Зміна всього обсягу атмосферної вологи у середньому здійснюється кожні 10 діб, або 36 разів протягом року.

Що стосується ґрунтової вологи, то оскільки вона найбільш пов'язана із атмосферними процесами та, в основному, підлягає сезонним коливанням, її зміна здійснюється протягом року.

Циркуляція води між Світовим океаном і сушею - важлива частка в підтримці життя організмів на Землі - є основною умовою взаємодії рослин і тварин із неживою природою. Окрім того, вода у геологічному колообізі - величезна трансформуюча сила, яка призводить до поступового руйнування літосфери, перенесення її складових частин у моря і океани.

На основі колообігу води з розчиненими у ній мінеральними речовинами, а також компонентів атмосфери закономірно виникла жива речовина, а з нею - біологічний (біотичний) цикл. В екологічній літературі його називають також великим біосферним циклом біотичного обміну, який являє собою безперервний планетарний процес закономірного циклічного, нерівномірного за часом і простором перерозподілу речовини, енергії та інформації.

#### **4. Джерела забруднення Світового океану та внутрішніх вод**

Джерел і каналів забруднення океану дуже багато. Вони поділяються за місцем виникнення, а також на наземні, атмосферні і морські, за часовою ознакою - на постійні (такі як випарування і вимивання забруднених речовин з атмосфери, скид із суші, експлуатаційні скиди з суден та ін.) і випадкові (внаслідок аварій танкерів і інших суден, катастрофічних розливи під час добування нафти, в результаті військових дій). Джерела забруднення також поділяються на точкові (надходять від колекторів стічних вод, морських суден і платформ, у результаті аварій) і зливні (від сільськогосподарських угідь, урбанізованих територій).

Залежно від поширення розрізняють локальні забруднення (радіусом близько 10 км), субрегіональні (близько 100 км), регіональні, що охоплюють море або значну частину океану (близько 1000 км) і глобальні (охоплюють увесь Світовий океан).

Забруднення океану важкими металами, перш за все Меркурієм, Плюмбумом, Кадмієм, відбувається через атмосферу і з річковими стоками. Сполуки Меркурію і Плюмбуму - найтоксичніші, спричиняють погіршення обміну речовин, викликають нервові розлади і смерть тварин. Кадмій негативно впливає на печінку, пригнічуючи діє на імунні функції організму.

Найбільшої уваги заслуговує забруднення океану нафтопродуктами. Небезпека нафтового забруднення полягає у тім, що нафта є токсичною сполукою, що негативно

впливає на всі групи морських організмів: планктон, нектон, бентос. Розлита на поверхні океану нафта порушує процес тепло-, водо-, газообміну на межі океану і атмосфери. Нафтова плівка перешкоджає випаруванню вологи, порушує колообіг води, змінює радіаційні властивості на поверхні океану.

Добування нафти на шельфі є більш "екологічно чистим" видом господарської діяльності, ніж її перевезення. Щорічно відбувається 2-3 випадки викиду нафти із свердловин або розриву підводних трубопроводів. Велика кількість забруднювачів, у тім числі пестицидів, виноситься комунально-побутовими стічними водами. Вони вміщують побутові нечистоти, харчові відходи, головним чином фосforo- і нітрогеновмісні сполуки.

До господарсько-побутових стічних вод додаються забруднювачі, що поступають з поверхні урбанізованих територій в результаті зливів, танення снігу, поливання вулиць. Забруднюють море і стоки, що утворюються у лісовому, сільському господарстві.

Велику тривогу викликає радіоактивне забруднення океану. Значну небезпеку для водного середовища становить теплове забруднення, яке пов'язане з спуском теплої води, використаної для охолодження реакторів АЕС. Підвищення температури води веде до різкого збільшення активності бактерій.

Швидко зростає забруднення океану твердим сміттям. Щорічно з усіх суден в океан скидається 6800 тис. металевих, 640 тис. паперових, пластмасових і 430 тис. скляних предметів.

Серед джерел забруднення водних об'єктів головне місце займають скиди міст і промислових підприємств. За останні роки у багатьох регіонах з ними конкурують скиди тваринницьких комплексів і води, що поступають зі зрошувальних полів. Наприклад, в Україні у водні об'єкти скидається близько 3198,6 млн м<sup>3</sup> стічних вод, у тім числі 470,2 млн.м<sup>3</sup> неочищених. У багатьох регіонах світу забруднення вод більше пов'язують з атмосферними опадами. Значну роль у погіршенні якості води відіграють зміни режиму річок і озер. Забруднення водозбірних площ, закачування промислових стоків у підземні горизонти, фільтрація й витікання води з різноманітних відстійників і накопичувачів веде до забруднення підземних вод.

Як наслідок порушується функціонування екосистем, знижується їх біопродуктивність; у багатьох випадках гинуть цінні види флори і фауни, погіршується стан здоров'я людини.

Значна кількість річок Європи через постійне скидання в них промислових відходів зараз мертві, особливо у Германії. Більшість річок Західної Європи й Америки обернулися на стічні канали. У буквальному розумінні горить ріка Кайахага (США), трохи не загинули американські Великі озера, на грані цього Рейн. На США, які займають 6% суходолу, припадає до 50% промислових відходів, що забруднюють нашу планету, і якщо такий стан буде тривати надалі, то за 15-20 років цій країні бракуватиме чистої прісної води. У Польщі, наприклад, річка Вісла уздовж 941 км через забруднення також стає непридатною для водопостачання.

В Україні нині основним забруднювачем є комунальне господарство населених пунктів, частка його становить більше 48%. У складі комунальних скидів є фекальні води, які особливо небезпечні для здоров'я людини, адже в їхньому складі є яйця гельмінтів, а також мікроби і віруси, що сприяють виникненню багатьох хвороб.

Частка промисловості у забрудненні поверхневих вод складає 38%. Найбільш поширеним шкідливим джерелом забруднення води є нафтопродукти. У стічних водах хімічних підприємств знаходиться багато фенолів. Скиди багатьох підприємств, а також шахтні води вміщують значну кількість важких металів. Теплові й атомні електростанції споживають велику кількість води і скидають у водойми підігріті води, що призведе до

теплого забруднення водоймищ, порушуючи термічний, гідрохімічний та гідробіологічний режим водних об'єктів.

Аграрне виробництво є також основним забруднювачем вод. Його частка складає 10%. Основними складовими

сільськогосподарського забруднення вод є частинки ґрунту, органічні речовини, амоніак, пестициди, шкідливі мікроорганізми.

Отже, ми тільки коротко перерахували основні джерела і види забруднення гідросфери. Далі буде розглянуто питання про різні види хімічних забруднювачів води, а також питання охорони водних ресурсів.

### **5. Хімічне забруднення природних вод**

Будь-яке водоймище або водне джерело пов'язано з довкіллям. На них впливають умови формування поверхового або підземного стоку, різноманітні природні явища, промислове і комунальне будівництво, транспорт, господарська і побутова діяльність людини. Крім вище названих видів забруднення водного середовища, виділяють ще хімічне, фізичне і біологічне забруднення.

Хімічне забруднення полягає у зміні природних хімічних властивостей води за рахунок збільшення в ній шкідливих домішок як неорганічної (мінеральні солі, кислоти, луки та ін.), так і органічної природи (нафта та нафтопродукти, органічні залишки, поверхово-активні речовини, пестициди та ін.)

Основними неорганічними (мінеральними) забруднювачами прісних і морських вод є різноманітні хімічні сполуки, які токсичні для мешканців водоймищ. Це сполуки Арсену (As), Плюмбуму (Pb), Кадмію (Cd), Меркурію (Hg), Хрому (Cr), Купруму (Cu), Флуору (F) та ін. Важкі метали поглинаються фітопланктоном, а потім передаються по харчовому ланцюгу більш високоорганізованим організмам.

Окрім того, до токсичних речовин можна віднести неорганічні кислоти та гідроксиди, які обумовлюють широкий діапазон рН промислових скидів (1,0-11,0) і здатні змінювати рН водного середовища до значень нижче 5,0 або вище 8,0, тоді як риба у прісній та морській воді може існувати тільки в інтервалі 5,0-8,5.

Моря та океани забруднюються переважно водами річок, які щорічно привносять до них понад 320 млн т Феруму, 6,5 млн т Фосфору та інших речовин. Багато забруднювачів потрапляє до океану з атмосфери. На поверхню Світового океану щорічно випадає 200 тис. т Плюмбуму, 1 млн т вуглеводнів, 5 тис. т Меркурію. Половина кількості пестицидів, яка знаходиться в океані проникає в нього із повітря. У табл. 6 подано дані забруднення Світового океану річними стоками та атмосферними перенесеннями.

Серед основних джерел забруднення гідросфери мінеральними речовинами та біогенними елементами слід згадати підприємства харчової промисловості та сільського господарства. Використання мінеральних добрив в аграрному виробництві суттєво змінило та продовжує змінювати масу біогенних елементів, які поступають з річковим стоком. Близько 1/3 внесених мінеральних добрив вимивається з ґрунтів і виноситься в моря та океани. Природне та антропогенне постачання Нітрогену і Фосфору в океан складає 62 млн т/рік. Сполуки цих елементів викликають надмірне розростання водної рослинності, особливо у невеликих прісних водоймах, що призведе до зменшення вмісту кисню у воді, "цвітінню" водойм, загибелі риби, погіршенню якості води.

Зі зрошуваних земель щорічно вимивається близько 6 млн т солей. У подальшому можливо збільшення цієї маси до 12 млн т (щорічне використання пестицидів та значних доз мінеральних добрив збільшує мінералізацію та забруднення води).

**Дані забруднення Світового океану річними стоками та атмосферними перенесеннями [7].**

Речовина	Планктон інвертовані личинки	Ракоподібні	Молюски	Риби
<b>Солі важких металів</b>				
Купрум	+++	+++	+++	+++
Плюмбум	-	+	+	+++
Цинк	+	++	++	++
Меркурій	++++	+++	+++	+++
Кадмій	-	++	++	++++
<b>Неорганічні речовини</b>				
Хлор	-	+++	++	+++
Роданід	-	++	+	++++
Ціанід	-	+++	++	++++
Фторид	-	-	+	++
Сульфід	-	++	+	+++
Примітка Ступінь токсичності: - відсутня + дуже слабка ++ слабка +++ сильна ++++ дуже сильна				

Відходи, які вмістять Меркурій, Плюмбум, Купрум локалізовані в окремих районах уздовж берегів, однак деяка частина їх виноситься далеко за межі територіальних вод. Забруднення сполуками Меркурію знижує первинну продукцію морських екосистем, пригнічуючи розвиток фітопланктону. Тому їх ГДК для водоймищ прийнято не більш 0,005 мг/л. Фактичний вміст Меркурію у водах річок промислових розвинутих країн перевищує ГДК у 2-4 рази, у зв'язку з чим вміст цього елемента в тканинах риб часто перевищує у 100-200 разів його вміст у "чистих" природних водах.

Відходи, які містять сполуки Меркурію накопичуються у донних відкладеннях річок. Подальша їх міграція супроводжується концентруванням метилового Меркурію та включенням його до трофічних ланцюгів водних організмів (особливо крабів і риб). Так, сумної слави набула хвороба, яку вперше виявили японські вчені у людей, які вживали в їжу рибу із затоки Мінамата (1954 р.), до якої безконтрольно скидалися промислові стоки з технічною ртуттю.

Винесення в океан органічної речовини оцінюється в 300-380 млн т/рік. Стічні води, які містять суспензії органічного походження, згубно замулюють дно та затримують розвиток або повністю припиняють життєдіяльність донних організмів, які приймають участь в процесі самоочищення водоймищ. Під час гниття рештків утворюється сірководень (H<sub>2</sub>S). Наявність суспензій перешкоджає проникненню світла у водоймища та затримує процеси фотосинтезу. Одним з основних санітарних вимог до якості води є вміст у ній розчиненого кисню. Шкідливу дію чинять всі забруднювачі, які сприяють зменшенню кількості кисню у воді (ПАР, феноли, нафта та нафтопродукти, інші органічні речовини).

Аеробні бактерії за допомогою кисню окиснюють у воді органічні речовини. Останні слугують їм їжею та задовольняють їх енергетичні потреби. Унаслідок процесів окиснення органічні рештки перетворюються в окисненні форми – CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, (рис. 9).

Однак іноді ці окиснювальні реакції настільки знижують кількість розчиненого у воді кисню, що аеробні бактерії вже не можуть існувати у такому середовищі. Тоді окиснювальні реакції здійснюються за допомогою анаеробних бактерій. Останні розкладають органічні речовини до  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{PH}_3$ . Продукти розкладу в цьому випадку токсичні для гідробіотів і мають неприємний запах.

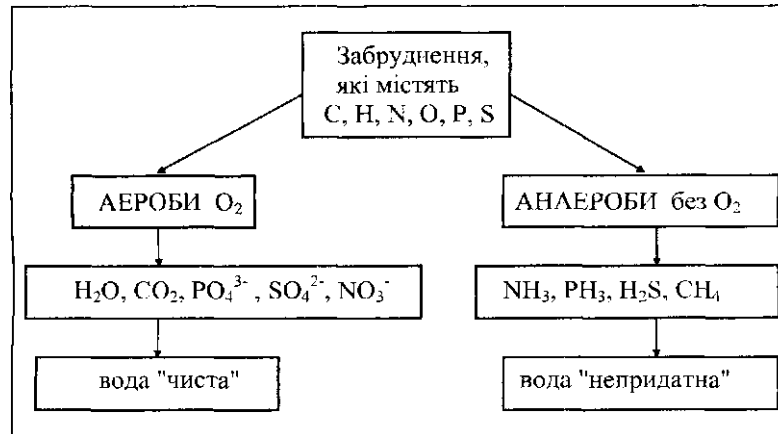


Рис. 9. Аеробні та анаеробні процеси у воді [7]

П'ятидогова проба БСК (БСК<sub>5</sub>) - це стандартна проба у гідрологічних дослідженнях на якість води. Під час проведення цього аналізу воду розводять насиченою повітрям дистильованою водою для того, щоб забезпечити надлишок кисню. Далі вимірюють концентрацію розчиненого кисню в одержаному розчині, потім видержують розчин протягом п'яти діб при 20°C і знов вимірюють концентрацію кисню. БСК<sub>5</sub> - це маса кисню, що витрачається на окиснення органічних речовин (як правило, БСК<sub>5</sub> складає 3/4 повної БСК). БСК<sub>5</sub> не більше 0,0015 г кисню на 1 л води, у каналізаційних стічних водах БСК<sub>5</sub> від 0,1 до 0,5 г/л.

Джерелами значного забруднення органічними речовинами водоймищ є неочищені води підприємств харчової та легкої промисловості (табл. 7).

Великі тваринницькі господарства, річкові та морські судна, а також поверховий стік, який приносить у водоймища до 15% органічних забруднювачів можуть бути джерелами органічного забруднення водного середовища.

Пестициди надходять у водоймища із дощовими та талими водами після авіа- та наземної обробки сільськогосподарських угідь, лісів, а також зі стічними водами підприємств, які виробляють ці речовини.

Маючи кумулятивну та мутагенну дію на водні організми (особливо на мальків риб) ці речовини помітно впливають на біологічну продуктивність Світового океану. Постійне накопичення у воді токсичних пестицидів (хлорорганічних) є серйозною загрозою як для життя гідробіотів, так і для людей. Існує визначена залежність між рівнем забруднення води хлорорганічними речовинами та їх вмістом у жирових тканинах риб і морських ссавців.

- мають велику біологічну активність поліфункціонального характеру;
- надзвичайно стійкі в навколишньому середовищі і живих організмах;
- здатні до накопичення в харчових ланцюгах;
- характеризуються значним часом утримання;
- утворюють стабільні і токсичні продукти розкладу або трансформації.

Ступінь забрудненості органікою промислових стічних вод у еквівалентах побутових скидів[7]

Виробництво	Добова продукція або кількість переробленої сировини	Еквівалент скидів від населення, чисельністю людей
Молокозавод	1000 л молока	30-80
Молокосирзавод	1000 л молока	100-250
Бойня	1 голова крупної рогатої худоби	70-200
Цукровий завод	1 т цукрового буряку	120-400
Пивоварний завод	1000 л пива	300-2000
Спиртовий завод	1 т пшениці	1500-2000
Крохмальний завод	1 т пшениці або кукурудзи	800-1000
Шкіряний завод	1 т шкіри	1000-4000
Вовномийня	1т вовна	2000-3000
Льонокомбінат	1т льону	750-1150
Деревообробний комбінат	1 т деревної стружки	50-80
Целюлозна фабрика	1 т целюлози	4000-6000
Паперовий комбінат	1т паперу	100-300
Завод по виробництву штучного волокна	1 т синтетичного матеріалу	500-700
Фабрика-пральня	1 т брудної білизни	700-2300

Наприклад, найрозповсюджений у минулому столітті інсектицид ДДТ знайдений зараз на всіх рівнях біосфери (навіть в жирових тканинах пінгвінів в Антарктиди!). Його період напіврозпаду 10-12 років, ГДК у воді 0,1 мг/л. Виробництво та використання ДДТ у пострадянських країнах заборонено з 1972 року, однак наслідки його шкідливої дії ще довго будуть тривати.

Поліхлорополіциклічні сполуки (ПХПС) ще більш небезпечні, тому що, навіть знаходячись в організмі у мізерних концентраціях, вони пригнічують імунну систему і адаптаційні можливості, а у більш високих концентраціях є канцерогенними. Вони порушують передачу нервових імпульсів і деякі генетичні механізми. Нині ПХПС - найсильніші ксенобіотики, дія яких на біосферу поліфункціональна і повністю не визначена.

4.Методи очищення стічних вод це руйнування або вилучення з них окремих забруднюючих речовин. Існує велика кількість способів очищення стічних вод і різні види їх класифікації.

Очищення стічних вод включає три стадії обробки:

Первинна обробка охоплює такі стадії очищення стічних вод.

1. Проціджування, яке призначено для виділення великих нерозчинних домішок розміром до 25 мм, а також більш дрібних волокнистих забруднювачів, які в процесі дальшої обробки стоків перешкоджають нормальній роботі очисних споруд. Проціджування стічн.х вод здійснюється пропусканням через решітки і волокновловлювачі.

2. Відстоювання засноване на особливостях процесу осідання твердих частин у рідинах.

Метод відділення твердих частин у полі дії відцентрових сил й фільтрування здійснюється у відкритих або напірних гідроциклонах і центрифугах.

Відкриті гідроциклони використовують для відділення зі стічних вод великих твердих частинок зі швидкістю осадження понад 0,02 м/с.

3. Фільтрування стічних вод призначене для очищення їх від тонкодисперсних твердих домішок з незначною концентрацією. Метод фільтрування застосовується також після фізико-хімічних і біологічних способів очищення, так як деякі з цих методів супроводжуються виділенням в очищену рідину механічних забруднювачів.

Якщо води не направляють на вторинне очищення, то, перед тим як скинути їх до природних водойм, здійснюють додаткову стерилізацію (частіше всього за допомогою хлору). Показник БСК води після первинної обробки знижується на 35%.

Вторинна обробка здійснюється за допомогою біологічних і хімічних методів.

Суть біологічного очищення на полях полягає в тому, що під час фільтрування стічної води через шар ґрунту в ньому адсорбуються мул і колоїдні речовини, які з часом утворюють в щілинах ґрунту мікробіологічну плівку. Ця плівка адсорбує і окиснює затримані органічні речовини, перетворюючи їх на мінеральні сполуки.

Очищення стічних вод від органічних сумішей здійснюється головним чином біологічними методами, які реалізуються в природних і штучних спорудах.

Для цілодобового та цілорічного очищення стічних вод, які призначені для зрошення та удобрення сільськогосподарських культур, використовують поля зрошення. На полях зрошення дозволяється вирощувати технічні, зернові, кормові та силосні культури, однолітні та багатолітні трави, овочі, які вживаються в їжу після термічної обробки (бурак, кабак, баклажани та ін.). Забороняється вирощувати овочеві культури, які вживаються в їжу без термічної обробки (морква, петрушка та ін.), баштанні культури, ягоди.

Для очистки рідкої фази стічних вод використовують поля фільтрації. Відбираючи території для полів фільтрації, користуються і такими ж правилами, як і під час відбору територій для полів зрошення. Для полів фільтрації найчастіше вибирають піски та пісковини.

Суттєвим чинником забруднення природного середовища є рідкі скиди тваринницьких ферм. Кожна тонна цих скидів вміщує до 10 кг Нітрогену, 2,5 кг Калію, 1 кг Фосфору.

Розроблено метод раціонального використання рідких скидів, в основі якого є окиснювальні контактні стабілізаційні ставки (БОКС- ставки). Стічну воду в таких ставках заселяють мікроводоростями, які використовують біогенні елементи й інтенсивно виробляють кисень. У результаті основна маса домішок руйнується і окиснюється. Також руйнуються й бактеріальні компоненти. Процес очищення скидів тваринницьких ферм у БОКС-ставках відбувається у 4 рази швидше, ніж у проточних ставках.

Окрім методів біологічного очищення існує великий спектр ефективних хімічних способів вилучення забруднювачів. Наведемо деякі з них.

1. Сорбція широко застосовується для очищення стічних вод від розчинних сумішей. Як сорбенти використовують практично всі дрібнодисперсні речовини (попіл, торф, стружки, шлаки, глина), але найбільш ефективним сорбентом є активоване вугілля. Вугілля попередньо прогартовують за температури 950°C. Найкраще сорбуються ароматичні сполуки, а також органічні сполуки з розгалуженим ланцюгом і функціональними аміно-, карбокси-, сульфо- або нітрогрупами.

2.,. Нейтралізація стічних вод призначена для виділення зі стічних вод кислот ( $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ,  $HNO_3$ ,  $H_3PO_4$ ), лугів ( $NaOH$ ,  $KOH$ ), а також солей металів на основі вказаних кислот і і

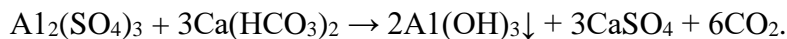
лугів. Суть нейтралізації полягає у сполученні йонів Гідрогену  $H^+$  і гідроксильної групи  $OH^-$  у молекулу води, унаслідок чого стічна вода стає нейтральною.

Нейтралізація може бути здійснена такими способами:

- змішування кислих та лужних стічних вод;
- додавання спеціального реагенту (використовують розчини кислот, негашене вапно  $CaO$ , їдкий натр  $NaOH$ , розчин амоніаку та ін.);
- фільтрування через нейтралізуючі матеріали (доломіт, вапняк і крейда  $CaCO_3$ , магнезит, обпечений магнезит та ін.);
- обробка димовими газами, які містять  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$  та ін.

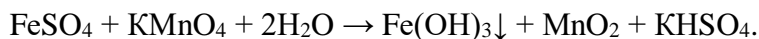
Таким чином, здійснюється і очистка промислових газів.

3. Коагуляція. Це процес вилучення дрібних часток шляхом співосадження їх з великими. Останні генерують, наприклад, вводячи у стічні води речовини  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Ca(HCO_3)_2$ .



Великі частинки алюміній гідроксиду захоплюють дрібні частинки забруднювачів та осідають з ними на дно відстійників.

Окрім  $Al_2(SO_4)_3$  як коагулянти використовують такі сполуки:  $Fe_2(SO_4)_3$ ,  $FeSO_4$ ,  $NaAlO_2$ ,  $CuSO_4$ , а також суміші солей.



Ферум(III) гідроксид сприяє утворенню пластівців, а надлишок калій перманганату окиснює органічні забруднювачі.

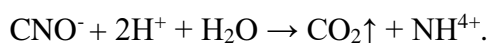
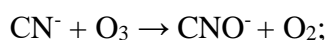
4. Осадження та йонний обмін. Для йонообмінних методів очищення стічних вод використовують йоннообмінні смоли, які здатні для очищення від багатьох сумішей, у тім числі і від шестивалентного Хрому. Ці методи дозволяють забезпечити високу ефективність очищення, а також отримати виділені зі стічної води метали у вигляді відносно чистих і концентрованих солей.

Осадження також використовують для вилучення зі стічних вод металів. Наприклад, для осадження йону  $Hg^{2+}$  додають надлишок хлорид-йонів. Для осадження  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  і  $Zn^{2+}$  додають надлишок сульфід-йонів  $S^{2-}$ .

5. Екстракція - процес перерозподілу суміші стічних вод у суміш двох взаємно нерозчинних рідин (стічної води і екстрагента). Наприклад, цей метод використовується для очищення стічних вод від фекалій. Окрім того, для багатьох токсичних металів одержані ефективні екстрагенти. Наприклад, Купрум ефективно вилучають за допомогою четвертинних амінів  $R_4N^+X^-$ .

6. Стерилізація. Стерилізацію здійснюють за допомогою хлору або гіпохлорит-йонів  $ClO^-$ , УФ-випромінювання, озонування.

Озонування - процес обробки стічних вод озоном застосовується для очищення від важких металів, ціанідів, сульфідів та інших розчинних солей. Хімічні реакції процесів стерилізації можна подати у вигляді таких схем:





## **ЛЕКЦІЯ 10**

### **«ХІМІКО-ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЛІТОСФЕРИ»**

1. Будова літосфери та її склад.
2. Ґрунтові ресурси Землі. Види і причини ерозії ґрунту.
3. Хіміко-екологічні проблеми використання пестицидів.
4. Добрива. Загальна характеристика добрив. Процеси трансформації Нітрогену в ґрунті.
5. Регулятори росту та розвитку рослин. Дефоліанти і десиканти.
6. Білкове голодування як хіміко-екологічна проблема (хімічні джерела їжі).

#### **1. Будова літосфери та її склад**

Гірські породи, які складають земну кору, досить різноманітні і змінюються від одного місця до іншого. Однак в їх розміщенні вже давно помічена одна важлива риса - закономірна зміна складу з глибиною. Зверху вниз відокремлюються три шари земної кори: осадовий, гранітний, базальтовий.

Осадовий шар утворений осадовими породами. У ньому переважають глини і глинисті сланці, широко представлені піщані, карбонатні і вулканогенні породи. Товщина осадового шару коливається в широких межах - від повної відсутності в деяких районах суші до 20-25 км у глибоких впадинах.

Гранітний шар складається із метаморфічних і вивержених порід, які близькі за своїми властивостями до граніту. Найбільш поширені тут гнейси, діорити, граніти, кристалічні сланці та ін. Зустрічається гранітний шар не скрізь, але на континентах, де він добре виражений, його товщина може досягати декілька десятків кілометрів.

Базальтовий шар утворений кристалічними породами, які близькі до вивержених базальтів. Це метаморфізовані магматичні породи, які мають більшу густину порівняно з породами гранітного шару.

Товщина земної кори менша під океанами, ніж під континентами через відсутність гранітного шару під океанами.

#### **2. Ґрунтові ресурси Землі**

Верхню частину осадового шару складає кора вивітрювання, яка формується в результаті видозмінювань гірських порід під впливом механічної і хімічної дії різних атмосферних факторів, рослин і тварин. На поверхні кори вивітрювання формується ґрунтовий шар, який є основою земельного фонду біосфери.

Ґрунтовий шар є самостійною земною оболонкою. Ґрунт є продуктом спільної дії клімату, рослин, тварин і мікроорганізмів на поверхневі шари гірських порід. За В.І.Вернадським, це біокісне тіло, яке складається разом з живих та кісних (неорганічних) тіл - мінералів, повітря, води, органічних рештків.

Найважливіша властивість ґрунту - родючість - здатність забезпечувати умови для продукування рослинами органічної речовини. Родючість обумовлена всією сукупністю властивостей ґрунту.

З кожним роком стає все більш актуальною проблема вичерпання земельних ресурсів. Однак, оцінюючи ресурси, слід пам'ятати положення, які також очевидні:

1. Земля - це замкнута хімічна система, її маса постійна, і з космосом вона обмінюється лише енергією;
2. Маса будь-якого хімічного елемента у складі всієї Землі практично не змінюється;

3. Усі ресурси Землі, окрім тих, які використовуються на виробництво енергії, потенційно відновлюються.

Отже, вичерпання ресурсів нібито не повинно бути, але воно є - людство розуміє і відчуває ці проблеми з кожним роком все більш гостріше.

Площа суші земної кулі, яка використовується у господарстві, складає земельний фонд планети. Загальна площа суші на Землі - 149 млн км<sup>2</sup>, з них 14 млн км<sup>2</sup> займають льодовики. У середньому на кожного мешканця Землі приходить 1 га орної землі, луків, пасовищ. Однак ця величина постійно знижується у зв'язку з ростом народонаселення планети та виходом частини земель із сільськогосподарського обороту. Щорічно виходє з використання 5-7 млн га земель різного виду. За думкою експертів ООН, на початку XXI ст. для сільськогосподарського виробництва може бути загублено до 650-700 млн га земель.

У різних країнах і континентах розораність земель надто неоднакова. Так, у Бразилії вона складає 1,1%, в Австралії - 1,2%, Канаді - 2,4%, Африці - 9%, Індії - 30,2%, Європі - 31%.

Освоювання нових земель, особливо за рахунок руйнування лісів, пов'язане з порушеннями екологічних систем, зміною ґрунтового режиму, у ряді випадків з труднощами природно- кліматичного і техніко-економічного характеру.

Орні землі головним чином зосереджені у лісостепових і степових зонах нашої планети. Найбільш великі масиви їх знаходяться в пострадянських країнах, США, Індії, Китаї, Канаді і Бразилії. Забезпеченість ланами у пострадянських країнах знизилась на 40%. Вільних цілинних та залежних земель, які придатні для орання в пострадянських країнах майже не залишилось.

Значна частина земель у всіх країнах світу щорічно вибуває з сільськогосподарського обороту в зв'язку з ерозією ґрунтів, хімічним і радіоактивним забрудненнями ґрунтів, засоленням, заболоченням, а також прямим знищенням і захопленням ґрунтів під споруди, будови, водосховища та ін.

Розрізняють природну геологічну ерозію, яку відвернути неможливо і яка особливої шкоди не приносить (вона проходить поступово і майже непомітно).

Прискорена або руйнівна ерозія виникає під впливом діяльності людини. За цього виду ерозії втрати компонентів ґрунту не компенсуються, і ґрунт частково або навіть повністю втрачає свою родючість. Процеси руйнування ґрунту можуть проходити у сотні і тисячі разів швидше, ніж за умов природної ерозії.

Товщина верхнього родючого шару ґрунту, який вміщує гумус, в багатьох типах ґрунтів рідко перевищує 20 см. На його утворення природа затратила не менше 2—7 тис. років. Прискорена ерозія може завдати повне руйнування цього шару за 10-30 років, а деколи він змивається всього лише за одну зливу або здувається за одну пилову бурю.

Спеціалісти підрахували, що в Україні нині зіпсовано близько 60% чорноземів. Щороку Україна втрачає 100 тис. га чорноземів.

Причинами прискореної або руйнівної ерозії є:

- безконтрольна вирубка лісів;
- нерегульоване випасання худоби;
- неправильна оранка на схилах;
- некоректні методи землеробства.

3. Хіміко-екологічні проблеми використання пестицидів.

Бурхливий розвиток хімізації всіх галузей народного господарства і побуту різко збільшили масштаби забруднення ґрунтів хімічними сполуками.

Нині у світі на 1 га сільськогосподарських земель у середньому вноситься 300 г хімічних засобів захисту рослин, у тім числі у Європі і США - 2-3 кг на 1 га, в країнах СНД - 1 кг на 1 га, в країнах Азії (за винятком Японії), Африки та Латинської Америки - близько 200 г на 1 га.

Встановлено, що стійкі пестициди, відіграючи позитивну роль у захисті рослин і тварин від хвороб, бур'янів, шкідників, водночас негативно впливають на чисельність і активність ґрунтової фауни і мікроорганізмів. Залишки пестицидів або продукти їх перетворення поступають у вигляді домішок до природних вод, і часто стають досить шкідливими для людини.

Ця проблема є досить актуальною й для України. Загальний обсяг використання пестицидів на полях нашої країни дуже великий: на початку ХХІ ст. він становив близько 200 тис. т. Різноманітний асортимент сучасних хімічних засобів захисту рослин, порушення норм і строків їх використання, слабкий контроль за споживанням цих засобів. У рослинницькій і тваринницькій продукції зосереджується надлишкова кількість гербіцидів, нітратів, які створюють різко негативний вплив на організм людини. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, все це приводить до збільшення онкологічних захворювань, частота виникнення яких на 80-90% пов'язана з забрудненням довкілля.

Пестициди складають менше від загального числа забруднювачів. Разом із шкідливою дією пестицидів на організм людини, вони допомагають зберегти близько 18-20% врожаю. Однак у майбутньому можливою стає відмова від використання деяких груп пестицидів і впровадження у практику сільськогосподарського виробництва більш екологічно-чистих методів боротьби із шкідниками сільськогосподарських культур.

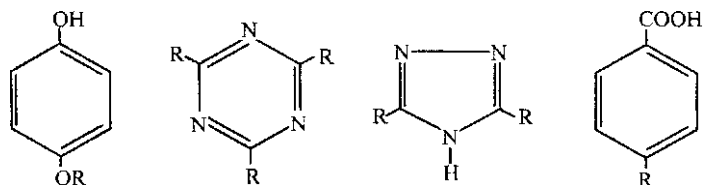
Пестициди класифікують на декілька груп:

- інсектициди - призначені для знищення комах;
- гербіциди - призначені для знищення бур'янів;
- фунгіциди - призначені для захисту рослин від грибкових захворювань;
- родентициди - призначені для боротьби з гризунами;
- лімациди - призначені для боротьби з різного роду молюсками, у тім числі слимаками;
- дефоліанти - призначені для знищення листя;
- десіканти - для висушування листя на корені;
- дефлоранти - для вилучення надлишкових квіток і зав'язі і т.д.

З пестициди поділяють на п'ять класів:

- 1) хлоропохідні вуглеводнів (ХОС);
- 2) фосфорорганічні сполуки (ФОС);
- 3) похідні карбаматів;
- 4) похідні хлорофеноксикислот;
- 5) сполуки піретроїдної природи.

Окрім пестицидів цих груп існують також ефективні пестициди іншої хімічної природи - похідні гідрохінону (I), похідні триазину (II), азоли (III), похідні бензойної кислоти (IV) та ін.



## (I) (II) (III) (IV)

Усі ці групи мають різні механізми дії на живий організм. При ефективних концентраціях проти шкідників піретроїди малотоксичні для людини і тварин. Механізм їх дії пов'язаний із деполаризацією натрієвих каналів нервових мембран і специфічним виключенням мембранних ферментів.

Існує шість груп пестицидів, які відрізняються за параметрами персистентності - препарати, «тривалість життя» яких у біосфері більш 18, 12, 6, 3 і менш 3 місяців відповідно.

Препарат, який розкладається на прості нешкідливі речовини протягом 1-2 днів, тижня або місяця не може бути віднесений до забруднювачів довкілля. Однак, існують пестициди, які мають практично абсолютну персистентність, наприклад, сполуки миш'яку. Ці пестициди дуже стійкі до дії різноманітних чинників і не підлягають трансформації та деградації.

У природі найстійкіші (протягом кількох років) хлорорганічні пестициди. Карбамати і ФОС розкладаються у ґрунті досить швидко (їх стійкість вимірюється неділями). Механізми розкладу різних груп пестицидів також різні: ФОС і карбамати легко гідролізуються, хлорорганічні сполуки дуже повільно розкладаються у результаті дії мікроорганізмів.

Хлорорганічні пестициди, на відміну від ФОС і карбаматів, завдяки своїй високій персистентності здатні накопичуватися у харчових ланцюгах. Селективне поглинання п,п'-дихлородифенілтрихлоретану (ДДТ) та його похідних гідробіонтами з води приводить до того, що організми, які знаходяться на останній стадії харчового ланцюгу накопичують пестициди в значних концентраціях.

Наприклад, хлоросульфурон швидко «зникає» у зернах пшениці після зняття врожаю. Але у цукровому буряку хлоросульфурон практично не розкладається. У багатьох країнах світу час очікування — це головний показник якості сільськогосподарської продукції.

У результаті довгого використання пестицидів в аграрному виробництві майже всюди відмічається зниження їх ефективності, у зв'язку з розвитком резистентних рас шкідників та розповсюдженням "нових" шкідливих організмів, природні конкуренти яких були знищені пестицидами. З біологічної точки зору резистентність можна розглядати як зміну популяцій в результаті переходу від чутливого штаму до стійкого штаму того ж виду внаслідок відбору, який викликаний пестицидами. Поява цієї властивості у шкідників спочатку примусила піти на збільшення доз препаратів, а потім на періодичну зміну пестицидів та розширення їх асортименту. Наприклад, використання абразивних матеріалів, які під час контакту з комахами своїми гострими частинками зскрібають з хітинових покривів шкідників верхній шар. Через деякий час комаха гине від висушування. Нині в якості абразивних інсектицидів використовують такі природні речовини, як корунд, пемзу, горну породу діатоміт та ін.

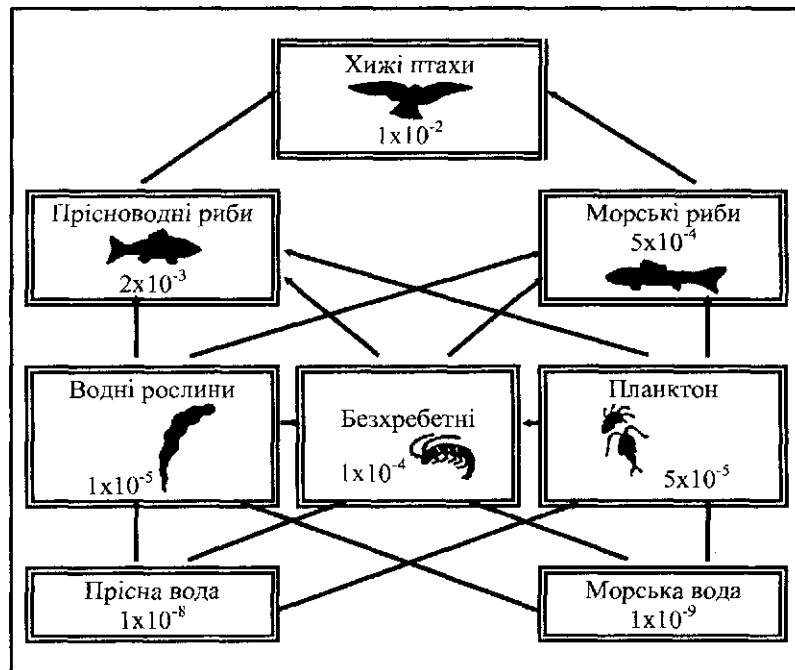


Рис. 10. Вміст ДДТ у ланках харчового ланцюгу (у г/кг) та у воді (у г/л) [7]

Найефективною та перспективною стала комплексна система захисту рослин. Вона охоплює:

- використання найбільш екологічно чистих пестицидів;
- використання біологічних методів захисту рослин (наприклад, феромонів комах або самих комах-ентомофагів);
- розробка та впровадження нових інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур.

#### 4. Добрива. Загальна характеристика добрив. Процеси трансформації Нітрогену в ґрунті.

Суттєвим є той факт, що хімічний компонент абіотичного фактору середовища впливає на життя організмів в екосистемах. Людина значним чином змінила цей хімічний компонент. Одним з прикладів такої зміни є внесення до ґрунту мінеральних добрив, а також інших хімічних агентів, які впливають на різні функції рослин.

- органічні та мінеральні речовини, які містять елементи живлення рослин (головним чином, Нітроген, Фосфор, Калій) - породжують екологічну небезпеку там, де їх використання не збалансовано. Дози добрив повинні бути точно розраховані для конкретних ґрунтових і кліматичних умов. Перевищення доз веде до змиву частини добрив, яка не засвоїлась рослинами, дощовими та паводковими водами в річки. Ці змиви забруднюють водойми та викликають розвиток у них хвороботворних організмів. Надлишок добрив може призвести до падіння врожайності, так як Нітроген, Фосфор і Калій, які потрапили у ґрунт починають чинити токсичний вплив на рослини.

Нестача та надлишок поживних речовин порушують режим живлення рослин, що приводить до їх ослаблення, в'янення та загибелі. При надлишку - страждають перш за все нижні листя, при нестачі - найбільш молоді частини рослин. У табл. 8 наведені деякі ознаки хвороб рослин при нестачі і надлишку поживних речовин.

Фосфорні та калійні добрива широко розповсюджені у вигляді родовищ фосфатних руд - фосфоритів, апатитів ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3$ ), калійних руд - сильвінітів ( $(\text{K,Na})\text{Cl}$ ). Застосовують такі фосфорні добрива: фосфоритне борошно (розмелений фосфорит  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3$ ), простий

суперфосфат (суміш розчинного кальцій дигідрогенфосфату  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  і нерозчинного кальцій сульфату  $\text{CaSO}_4$ ), подвійний суперфосфат (кальцій дигідрогенфосфат  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ), преципітат (кальцій гідрогенфосфат  $\text{CaHPO}_4$ ) та ін.

Таблиця 8

## Деякі ознаки хвороб рослин при нестачі і надлишку поживних речовин [7]

Поживний компонент	Нестача	Надлишок
Нітроген (N)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• затримка росту;</li> <li>• пожовтіння, побуріння та засихання листя;</li> <li>• здерев'яніння стеблин</li> <li>• зменшення квіток</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• побуріння листів (обпалені краї) та їх загибель;</li> <li>• скорочення періоду вегетації</li> </ul>
Калій (K)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• появлення "крайового обпалення" нижніх листів;</li> <li>• ослаблення рослин;</li> <li>• у плодкових та ягідних культур листя блакитно-зелене</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• утворення на плодах гіркої слизі</li> </ul>
Фосфор (P)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• бурі плями між жилками листів;</li> <li>• в'яне листя;</li> <li>• фіолетово-червоний колір на стеблинах, гілках і нижньому боці листів;</li> <li>• загинання листів доверху;</li> <li>• квітки дрібні</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• зменшення вегетативного періоду;</li> <li>• зменшення врожайності</li> </ul>
Кальцій (Ca)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• зупинка росту і розвитку коренів;</li> <li>• верхні листя білясті, нижні - зелені;</li> <li>• відмирання точок росту</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• стимуляція розвитку крім корисних мікроорганізмів і шкідливих мікроорганізмів</li> </ul>
Купрум (Cu)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ослаблення листів;</li> <li>• посвітління кольору листів;</li> <li>• вродлива форма листів плодкових рослин;</li> <li>• розтріскування кори;</li> <li>• ослаблення плодоносіння;</li> <li>• в'янення верхівок ("відьміні мітли")</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• слабкий розвиток корінців</li> </ul>

Інтенсивне використання у багатьох регіонах азотних та калійних добрив призвело до появи проблеми нітратів, які забруднюють харчові продукти. Окрім проблеми нітратів є ще один "мінус" використання мінеральних добрив. Фосфор, Нітроген і Калій потрапляючи з полів разом із дощовими та талими водами до природних водойм, стимулюють бурхливий розвиток фітопланктону, який поглинає кисень і виділяє при інтенсивному розмноженні сірководень ( $H_2S$ ) амоніак ( $NH_3$ ). У результаті гине риба, а вода стає непридатною не тільки для пиття, але й для купання.

Нині щорічне виробництво добрив складає близько 23 кг на людину, причому половина всіх добрив - азотні. Органічні і мінеральні добрива, які містять сполуки Нітрогену, в ґрунті перетворюються на нітрати та разом з водою поглинаються рослинами.

У кореневої системі, стеблинах, листях і плодах нітрати відновлюються під дією ферментів до йонів амонію  $NH_4^+$ , що стає основою синтезу амінокислот і далі білків. Таким чином, мінеральний Нітроген перетворюється на органічний.

За природних умов (наприклад, у лісі) вміст нітратів у рослинах невеликий, тому нітрати повністю перетворюються в органічні форми. Але якщо така рослина вирощується на удобреному полі, то мінеральних солей Нітрогену в неї у 20 разів більше, ніж у природному ґрунті, а при надмірному внесенні добрив - у 40 разів.

Як же впливають нітрати на організм людини?

Підпорогова концентрація амоній нітрату, яка не впливає на санітарний режим водоймища складає 10 мг/л. Максимальна його концентрація, яка при постійному впливі протягом довгого часу не викликає порушень біохімічних процесів складає 2 мг/л. Смертельна доза нітратів для людини - 8-15 г. Допустима добова доза споживання 5 мг/кг.

Людина відносно легко переносить дозу в 150-200 мг нітратів на добу; 500 мг на добу - гранично допустима доза; 600 мг на добу - токсична доза для дорослих; 10 мг на добу - токсична доза для немовлят.

Під впливом значної дози нітратів спостерігається гостре отруєння. Найбільш небезпечно, коли надлишкові нітрати не встигають виводитися з організму або витратитися на синтез біомолекул (амінокислот, білків) і перетворюються на нітрити. Останні, потрапляючи у кров, дезактивують дихальні ферменти, що приводить до зниження у крові вмісту гемоглобіну і порушення її транспортної функції.

## **5. Регулятори росту та розвитку рослин. Дефоліанти і десиканти**

Серед хімічних регуляторів росту та розвитку рослин визначають фітогормони, природні стимулятори і інгібітори. Усі ці речовини у низьких концентраціях продукуються рослинами і здійснюють стимуляцію важливих фізіологічних процесів. Збалансована дія цих біореї уляторів призводить до послідовної реалізації "програми розвитку рослини" - її росту, цвітіння, плодоносіння, листопаду, переходу у стан спокою та ін.

До фітогормонів відносять ауксини, цитокініни, гібереліни, абсцизову кислоту, етилен. Індолілоцтова кислота та її похідні входять до групи ауксинів. Вони стимулюють клітинне ділення, коренеутворення, синтез білків у рослинах. їх використовують при пересадженні плодкових дерев та для обробки живців з метою їх кращого укорінення. За допомогою спеціальних синтетичних сполук — ретардантів можна порушувати біосинтез гіберелінів і тим самим сприяти формуванню короткостеблинних рослин. У боротьбі із поляганням злаків часто використовується ретардант хлорохолінхлорид:  $[C1-CH_2-CH_2-N^+(CH_3)_3]Cl^-$

Цитокініни стимулюють клітинне ділення, перешкоджаючи процесам старіння (в'янення) рослин. Одним з представників цього класу речовин є зеатин, який одержаний у 1964 році з кукурудзи.

Етилен регулює дозрівання плодів, гальмує ріст пагонів, прискорює скидання листів. Одержані синтетичні препарати, які здатні розкладатись у рослинах з виділенням етилену.

Існує також велика кількість інших хімічних агентів, за допомогою яких людина впливає на різні сторони життя та розвитку культурних рослин. Наприклад, викликають штучний листопад, прискорюючи, таким чином, дозрівання плодів або полегшуючи їх збір (наприклад, бавовни). Найбільш простими за хімічною природою представниками цієї групи є магній хлорат  $Mg(ClO_3)_2 \cdot 6H_2O$ , кальцій ціанід  $Ca(CN)_2$ , натрій тіоціанат  $NaSCN$  та ін.. До цієї групи речовин належать магній і кальцій хлорати. Однак деякі дефоліанти і десиканти токсичні для хребетних тварин. У таких випадках необхідний особливо обережний і екологічно вірний підхід під час використання хімічних засобів.

### **6. Білкове голодування як хіміко-екологічна проблема (хімічні джерела їжі).**

Щорічно чисельність населення Землі зростає на 80-85 млн чол. (це більше ніж населення найбільш чисельної країни Європи - Германії). Понад 92% цієї кількості дають країни, що розвиваються (у т.ч. країни Африки і Південної Азії - більше 1/2 загального приросту населення планети), у яких демографічна проблема переплітається з цілою низкою життєво небезпечних для суспільства проблем: соціально-економічних, екологічних, продовольчих тощо. Одною з значних проблем, яка стоїть сьогодні перед людством - це поповнення продовольчих ресурсів. У багатьох випадках залежать від капризів природи. Для одержання 1 кг тваринного білку необхідно до 10 кг рослинного.

Мікробіологічний білок має такі особливості:

- не залежить від сільськогосподарських операцій, що пов'язані з кліматом, добривами, пасовищами та ін.;
- вміщує окрім білку (частка якого дуже велика — до 50—65% сухої маси) інші важливі речовини - вуглеводи, ферменти, мінеральні солі, жири, вітаміни та ін. 1 тонна дріжджів за енергетичною цінністю здатна замінити 7-8 тонн харчових злаків;
- продукується із значно великим виходом (рис. 34);
- як субстрат (сировина) для свого росту мікроорганізми можуть використовувати різноманітні сільськогосподарські відходи;
- одноклітинний білок може підвищувати енергетичну цінність їжі, як додатковий компонент для збалансованості продукту за вмістом амінокислотам (у деяких злаках, кукурудзі, рисі відсутні такі незамінні амінокислоти, як триптофан, лізин та ін.).

Отже, їжу можна синтезувати за допомогою мікроорганізмів. Самі ж мікроорганізми живляться таким первинним набором простих речовин, як вуглекислий газ ( $CO_2$ ), амоніак ( $NH_3$ ), водень ( $H_2$ ), вода ( $H_2O$ ). Окрім того, за допомогою хімічних речовин, які не мають ніякої цінності для людини (а іноді є шкідливими для біосфери) можна здійснювати біосинтез харчового білку.

Сировиною для виробництва мікробіологічного білку є:

1. Вуглеводні (метан та інші алкани, продукти переробки нафти);
2. Спирти (метанол, етанол та ін.);
3. Вуглеводи (глюкоза, сахароза, фруктоза, крохмаль та ін.);
4. Відходи переробки сільськогосподарської продукції (м'яса, сирна сироватка, бадилля польових культур, відходи консервного виробництва).

Багатолітні дослідження показали, що одноклітинний білок, який одержаний за допомогою мікроорганізмів на різних і, майже, на отруйних субстратах, нетоксичний для вищих ссавців. У нашій країні мікробіологічний білок, який називають БВК (білково-



вітамінний концентрат або паприн) використовують як кормовий додаток у птахівництві, тваринництві та рибному господарстві.

Останнім часом гостро дискутується питання про екологічну безпеку мікробіологічних заводів (м. Кременчук). Однак багато спеціалістів вважають, що БВК небезпечний для людини лише тоді, коли потрапляє у значних кількостях до дихальних шляхів, тобто проявляє себе як алерген. Іншим питанням, що пов'язане із БВК на основі вуглеводнів, є проблема "залишкових парафінів". Справа у тім, що дріжджі, що вирощуються на рідких вуглеводнях, вміщують в протоплазмі «залишкові парафіни». Ці парафіни необхідно вилучати, оскільки останні забруднюють харчовий білок, роблячи його токсичним. Розв'язання цієї проблеми полягає у тім, що в стадії дозрівання дріжджів, їх «саджають на дієту» і вони примушені витратити залишкові вуглеводні.

Отже, потребує удосконалення сама технологія виробництва мікроорганізмів, проводиться її герметичність (без викидів), здійснюється спеціальна обробка кормового концентрату. Так, необхідно розраховувати на екологічну грамотність і відповідальність людини.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Батлук В. А. Основи екології : підручник. К. : Знання, 2007. 519 с.
2. Білявський Г. О., Бутченко Л.І., Навроцький В.М. Основи екології : підручник. К. : Лібра, 2002. 351 с.
3. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навч. посібник. К. : Знання, 2007. 422 с.
4. Злобін Ю. А. Кочубей Н.В. Загальна екологія : навч. посібник. Суми : Університетська книга, 2003. 414 с.
5. Кучерявий В. П. Екологія : підручник. Львів : Світ, 2000. 499 с.
6. Музиченко О., Боярин М., Лавринюк З. Основи екології. Конспект лекцій. Луцьк, ПП Іванюк В.П. 2013. 52 с.
7. Мітрясова О. П. Хімічна екологія: навч. посібник . Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. 318 с.
8. Олійник Я. Б. Шищенко П.Г., Гавриленко О.П. Основи екології : підручник. К. : Знання, 2012. 558 с.
9. Сухарев, С. М., Чундак С.Ю., Сухарева О.Ю. Основи екології та охорони довкілля : навч. посібник. К. : ЦНЛ, 2006. 394 с.
10. Федоряк М. М., Москалик Г.Г. Основи екології : навч. посібник. Чернівці : ЧНУ, 2009. 336 с.

**Лавринюк Зоряна Володимирівна**

Конспект лекцій із освітнього компоненту «Загальна та хімічна екологія» для здобувачів освіти освітнього рівня бакалавр, спеціальностей 014 Середня освіта (Хімія), освітньо-професійної програми – Середня освіта; спеціальності 102 Хімія, освітньо-професійної програми – Хімія; спеціальності 161 Хімічні технологія та інженерія освітньо-професійної програми – Хімічні технології та інженерія

Друкується в авторській редакції

Верстка З.В.Лавринюк



