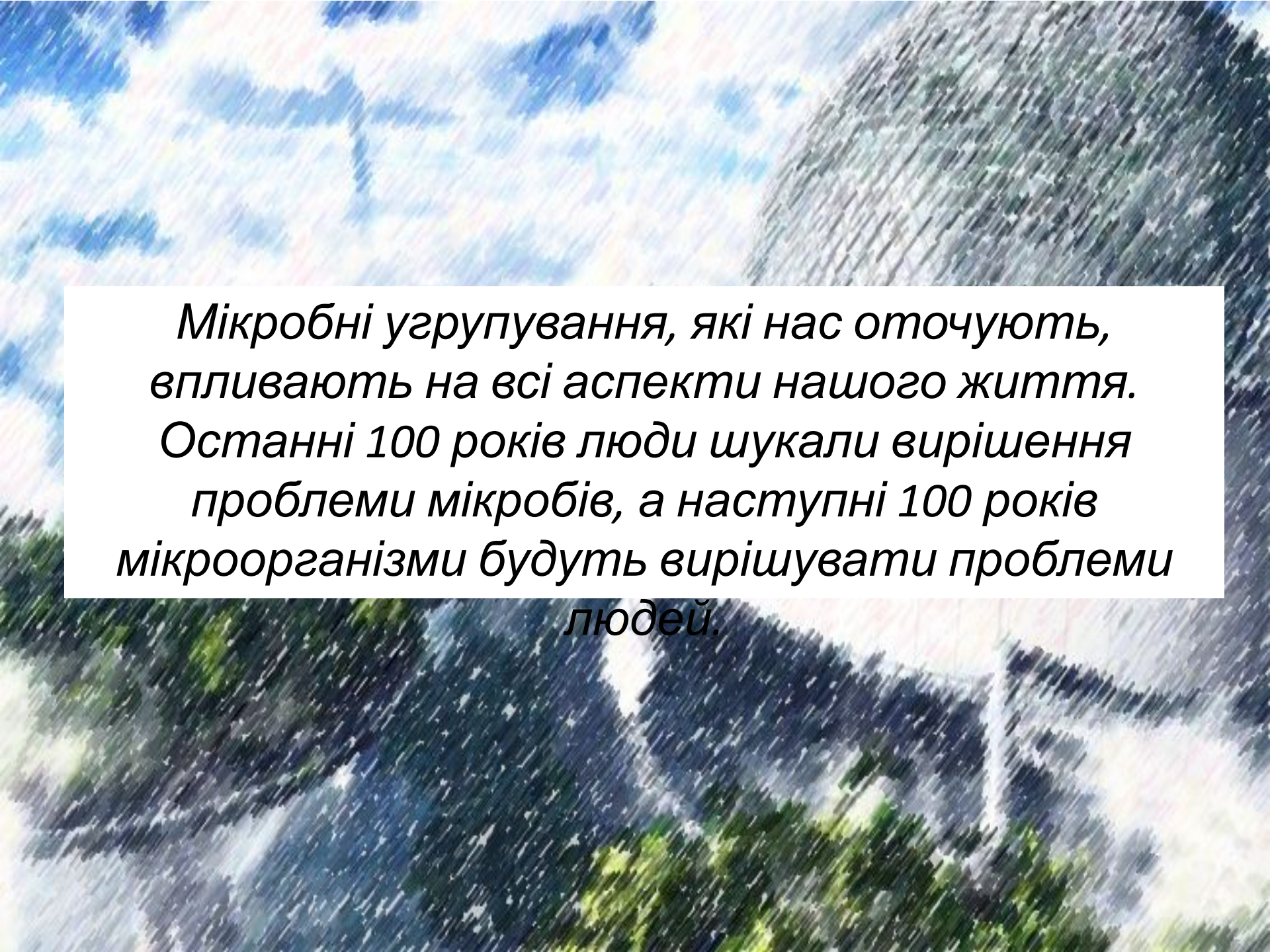


# Біотехнології контролю та очистки повітря

- ❖ Мікроорганізми у повітряному середовищі
- ❖ Мікроорганізми будівель
- ❖ Мікроорганізми громадських приміщень
- ❖ Мікроорганізми у лікарнях
- ❖ Мікроорганізми вентиляційних систем
- ❖ Моніторинг санітарного стану повітря
- ❖ Біологічна очистка та дезодорація газоповітряних викидів



*Мікробні угруповання, які нас оточують, впливають на всі аспекти нашого життя. Останні 100 років люди шукали вирішення проблеми мікробів, а наступні 100 років мікроорганізми будуть вирішувати проблеми людей.*

## **Мікроміцети повітря відкритих просторів**

Арктика – от 1 до 10 КОО/м<sup>3</sup>

Ліс - 100-250 КОО/м<sup>3</sup>

Промислове підприємство 300-2000 КОО/м<sup>3</sup>

Міський парк – до 200 – 250 КОО/м<sup>3</sup>

Міська вулиця – до 2000 КОО/м<sup>3</sup>

## **Мікроміцети повітря закритих приміщень**

Житлове приміщення – до 5000 КОО/м<sup>3</sup>

ГДК 500 КОО/м<sup>3</sup>

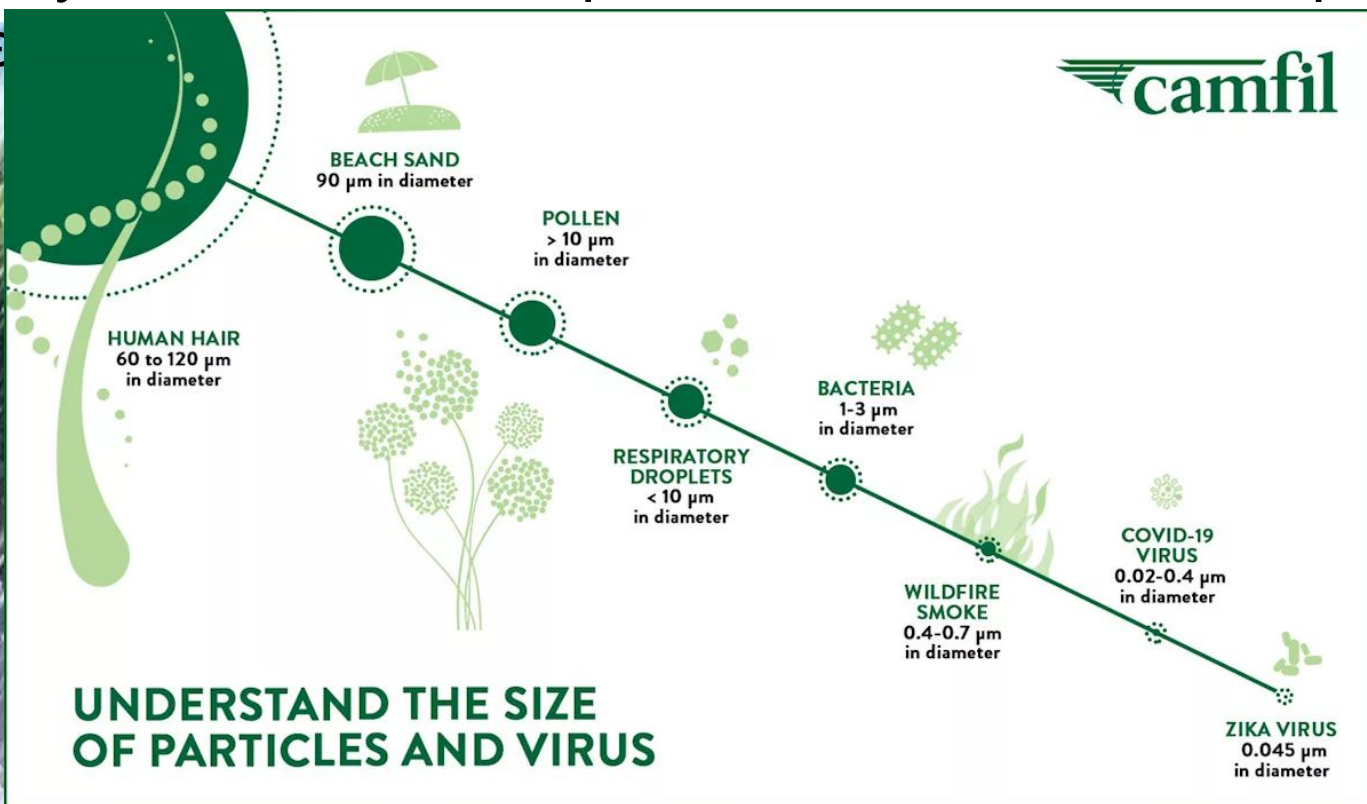
**КУО** (колонієутворюючі одиниці) – це показник кількості життєздатних мікроорганізмів в одиниці об'єму (1 см<sup>3</sup>), рідини (1 мл), або в твердому/сухому матеріалі (1 г).

Саме по собі повітря не є живильним середовищем для мікроорганізмів, але служить прекрасним засобом їх переміщення. Потоки повітря переносять спори грибів, бактеріальні клітини та інші мікроскопічні частинки і біооб'єкти, а системи вентиляції і кондиціювання служать для цього зручними транспортними шляхами. Життєздатність мікроорганізмів в повітрі забезпечують зважені частинки води, слизу та пилу.

У повітрі мікроорганізми знаходяться у стані аерозолю – це суспензія мікробних клітин, адсорбованих на пилових частинках або скомпоновані у «краплинні ядра». Це частинки розміром від 0,001 до 100 мкм, які представлені трьома основними фазами.

У крапельній (крупноядерній) фазі клітини мікроорганізмів оточені водно-сольовою оболонкою і діаметр такої частки становить в середньому **0,1 мм**. Вона знаходиться в повітрі всього кілька секунд, переміщаючись зі швидкістю приблизно 30 см/с. Дрібні крапельки аерозолю, висихаючи залишаються в повітрі в підвішеному стані і утворюють стійку аеродисперсну систему, де частково зберігається волога, що підтримує

ЖИТТЄ



При висиханні дрібних крапельок аерозолі (стійка аеродисперсна система) утворюється мілкоядерна фаза, в якій діаметр часток не перевищує 0,05 мм, а швидкість їх осідання складає 0,013 см/с, при цьому вони здатні швидко переміщатися на великі відстані. Саме ця фаза являє найбільшу епідеміологічну небезпеку, оскільки таким шляхом поширюється більшість збудників повітряно-крапельних інфекцій, особливо малостійких до зовнішніх впливів (наприклад, збудник коклюшу).



Третя фаза складається з більш великих часток, розмір яких варіює від 0,01 до 1 мм, а швидкість переміщення залежить від швидкості повітряних потоків. Цей «бактеріальний пил» осідає на різних предметах і служить джерелом інфекцій, особливо в випадку стійких до висушування біооб'єктів – мікобактерій, клостридій, стафілококів, стрептококів, грибних сп

### В зависимости от дисперсного состава различают:

ВИДИМУЮ ПЫЛЬ  
(размеры частиц более 10 мкм)

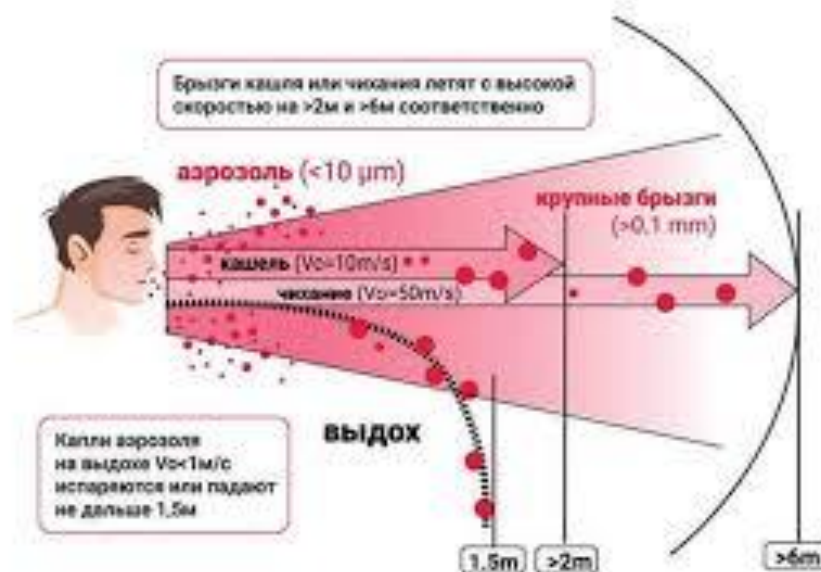
МИКРОСКОПИЧЕСКУЮ  
(0,25-10 мкм)

УЛЬТРАМИКРОСКОПИЧЕСКУЮ  
(менее 0,25 мкм)

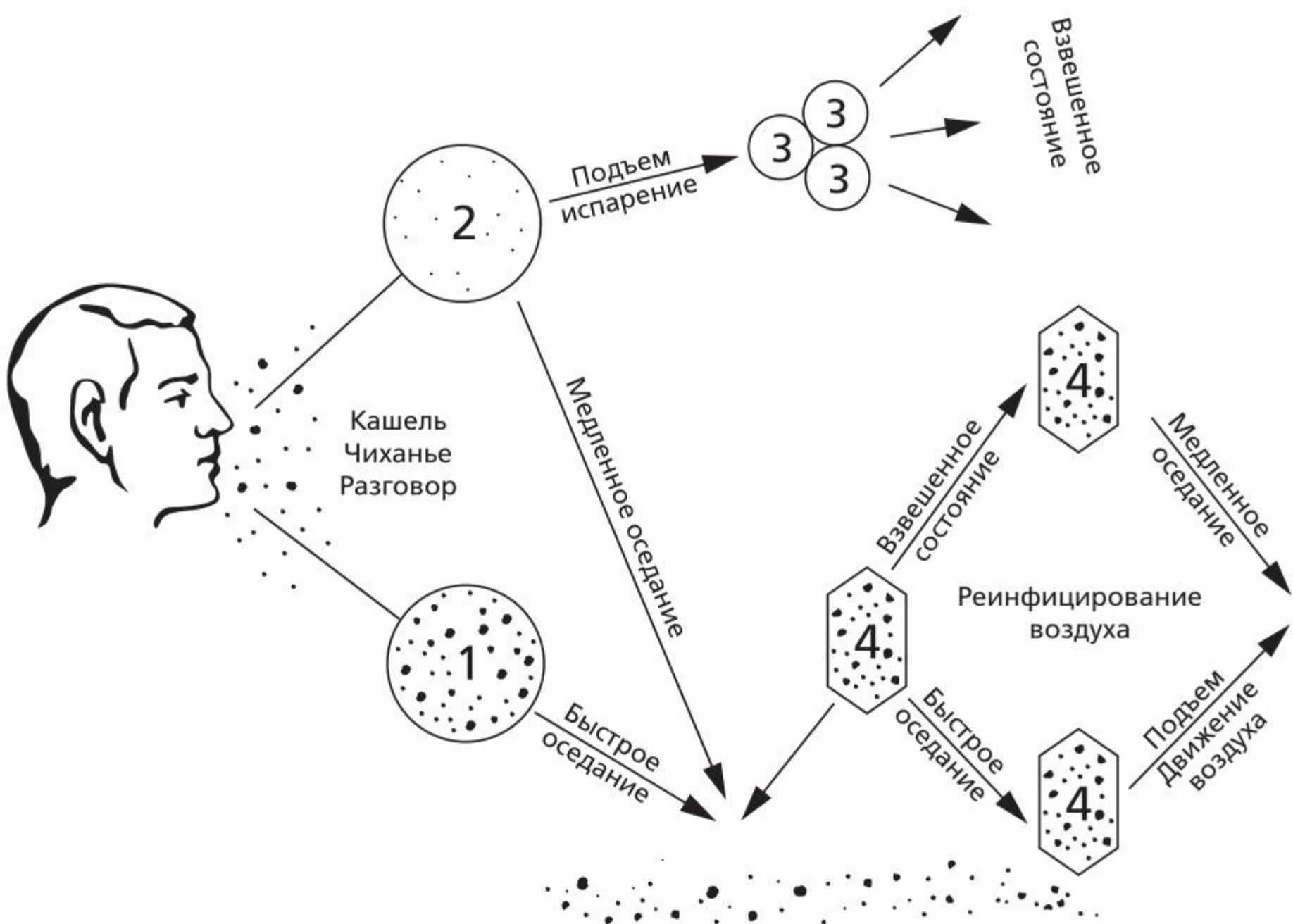


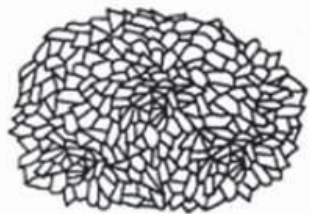
Найбільш небезпечні частинки з розміром від 0,05 до 5 мкм, оскільки вони затримуються в бронхіолах і альвеолах. Саме ця фракція пилових частинок береться до уваги в сучасній класифікації чистих приміщень. Частинки з розміром від 10 мкм і більше затримуються у верхніх відділах дихальних шляхів і виводяться з них. Небезпека мікробного аерозолю для здоров'я людей обумовлена не тільки повітряно-крапельним механізмом передачі при ряді інфекційних захворювань, але й спричиненням розвитку алергії і інтоксикацій продуктами мікробного метаболізму.

- Здоровый человек при каждом акте чихания выделяет в воздух 10000—20000 микробных тел, а больной — во много раз больше.
- Эти мельчайшие капельки могут часами удерживаться в воздухе во взвешенном состоянии, образуя стойкие аэрозоли.









Поксвирусы (300 нм)



Иридовирусы (250 нм)



Герпесвирусы (250-300 нм)



Аденовирусы (75 нм)



Парвовирусы (50 нм)



Гепаднавирусы (42 нм)



Парвовирусы (20 нм)



Парамиксовирусы (150-300 нм)



Рабдовирусы (180 нм)



Аренавирусы (50-300 нм)



Ортомиксовирусы (80-120 нм)



Буньявирусы (100 нм)



Ретровирусы (80-100 нм)



Коронавирусы (60-220 нм)



Реовирусы (60-80 нм)

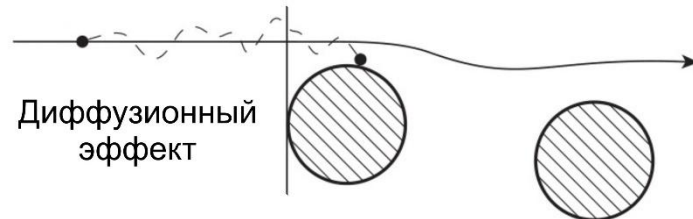


Тогавирусы (60-70 нм)  
Флавивирусы (40-50 нм)

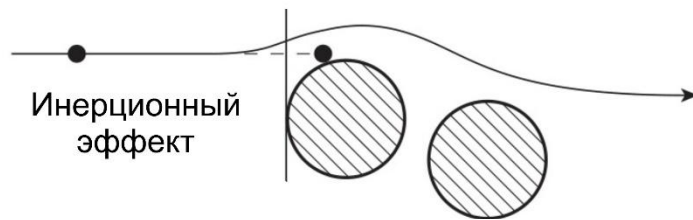


Пикорнавирусы (25-30 нм)  
Кальцивирусы (35-40 нм)

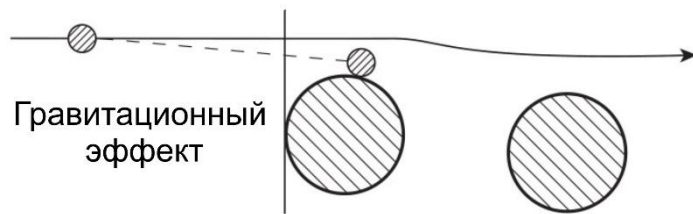
## Эффекты осаждения аэрозольных частиц в



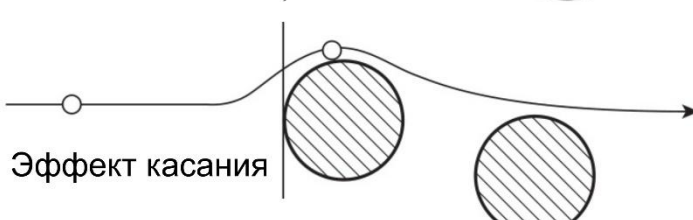
Диффузионный эффект



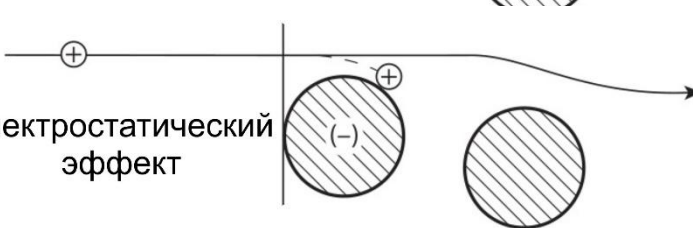
Инерционный эффект



Гравитационный эффект



Эффект касания



Электростатический эффект

## **Пил – джерело патогенних мікроорганізмів**

*У 1 гр. пилу може міститися до 1 млн. біооб'єктів.*

- В частинках пилу приміщень **патогенні бактерії** можуть зберігати **життєздатність і контагіозність** дуже довгий час: гемолітичний стрептокок – 2-3 місяці, бруцели – від 20 до 70 днів, *Mycobacterium tuberculosis* – до року. Віруси **застиуди та грипу** можуть виживати протягом 18 годин на твердих поверхнях.
- Вважають, що **запиленість приміщень** має велике значення у виникненні спалахів бактеріальних інфекцій та поширенні збудників мікозів, зокрема гістоплазмозу і кокцидіоїдомікозу.
- **Можливість зараження пиловими частинками, що містять патогенні мікроорганізми**, доведена для туберкульозу, сибірської виразки, бруцельозу, Ку-лихоманки, туляремії, дифтерії та ін.

## Фактори впливу на склад мікроорганізмів пилу

- Зазвичай бактерії наявні у повітрі більшості приміщень не становлять небезпеки для здоров'я, оскільки серед них домінують **грам-позитивні мікроорганізми**, які мешкають на шкірі і в верхніх дихальних шляхах здорових людей. Проте, якщо концентрація мікроорганізмів значно підвищена, це свідчить про **надмірну скупченість людей, недостатню санітарію та погану вентиляцію приміщень**.
- Таким чином, кількісний та якісний склад мікроорганізмів в громадських місцях залежить від щільності і активності руху людей, а також від санітарного-технічного стану приміщень:
- вентиляцію, частоту провітрювань, запиленість, якість прибирання, вологість, ступінь освітленості і інші фактори.

## Найнебезпечніші бактерії

Експерти ВООЗ спільно з відділом інфекційних захворювань при німецькому Тюбінгенському університеті назвали **12 бактерій, які становлять найбільшу небезпеку для здоров'я людини.**

- I. У першу критичну групу увійшли *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* та Enterobacteriaceae. Такі мікроорганізми часто зустрічаються в лікарнях та будинках для людей похилого віку, причому зараження ними може призвести до смертельних інфекцій, наприклад до пневмонії та захворювань крові. Ці бактерії стійкі до більшості антибіотиків, у тому числі карбапенемів та цефалоспоринів.
- II. До другої групи списку ВООЗ включені *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Helicobacter pylori*, *Campylobacter spp.*, *Salmonellae* та *Neisseria gonorrhoeae*.
- III. До третьої категорії були віднесені *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae* та *Shigella spp.*

## Мікроорганізми приміщень

Більшу частину життя люди проводять в будівлях, де завжди присутні мікроорганізми – **патогенні, умовно-патогенні або нейтральні**, але у більшості випадків їх вплив на мешканців та мікроклімат приміщень все ще залишається недостатньо дослідженим.

Неможливо зовсім позбутися оточуючої мікрофлори, але можливо вплинути на її **видовий склад і кількісне співвідношення**, однак для цього необхідно знати, які чинники впливають на мікробні асоціації будівель.

**Кількісний і якісний склад** мікрофлори приміщень залежить від їх **функціонального призначення, конструкційних особливостей, умов експлуатації, клімату** та інших чисельних факторів, серед яких суттєве значення має **спосіб вентиляції**.

В 1 м<sup>3</sup> повітря житлових приміщень налічують **20 000** мікроскопічних біооб'єктів, серед яких **бактерії, гриби та віруси**. Їх життєздатність у повітрі залежить від **стійкості до висушування, ультрафіолетового випромінювання** та інших факторів. Мікроорганізми активно розмножуються в теплому і вологому середовищі, особливо в затемнених місцях, на різноманітних субстратах і частинках пилу.

Мікроорганізми відіграють важливу роль у стані мікроклімату приміщень, а їх кількість в повітрі будівель більше, ніж в атмосферному повітрі іноді в сотні разів. Проте мікрофлора повітря закритих приміщень без систем вентиляції більш одноманітна і відносно стабільна, ніж склад мікроорганізмів відкритих просторів.

У житлових та громадських приміщеннях домінують мешканці носоглотки людини, зокрема, стрептококи, пневмококи, діфтероїди, стафілококи, в тому числі патогенні види, які виносяться назовні в процесі дихання, кашляння і чихання людей. В повітрі часто трапляються спори аеробних паличок роду *Bacillus*, пігментовані штами бактерій родів *Sarcina* і *Staphylococcus*, а також гриби родів *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhodotorula* та ін. В домашньому пилу переважають бактерії людської шкіри (*Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Corynebacterium* і *Propionibacterium*), вагіни (*Lactobacillus*, *Bifdobacterium* і *Lactococcus*) і фекалій (*Bacteroides*, *Faecalibacterium* і *Duminiococcus*)





Відмічають гендерну спеціалізацію мікрофлори: в будинках, де більше чоловіків переважають види родів *Corynebacterium*, *Dermabacter* і *Roseburia*, а в «жіночих» будинках – *Lactobacillus*.

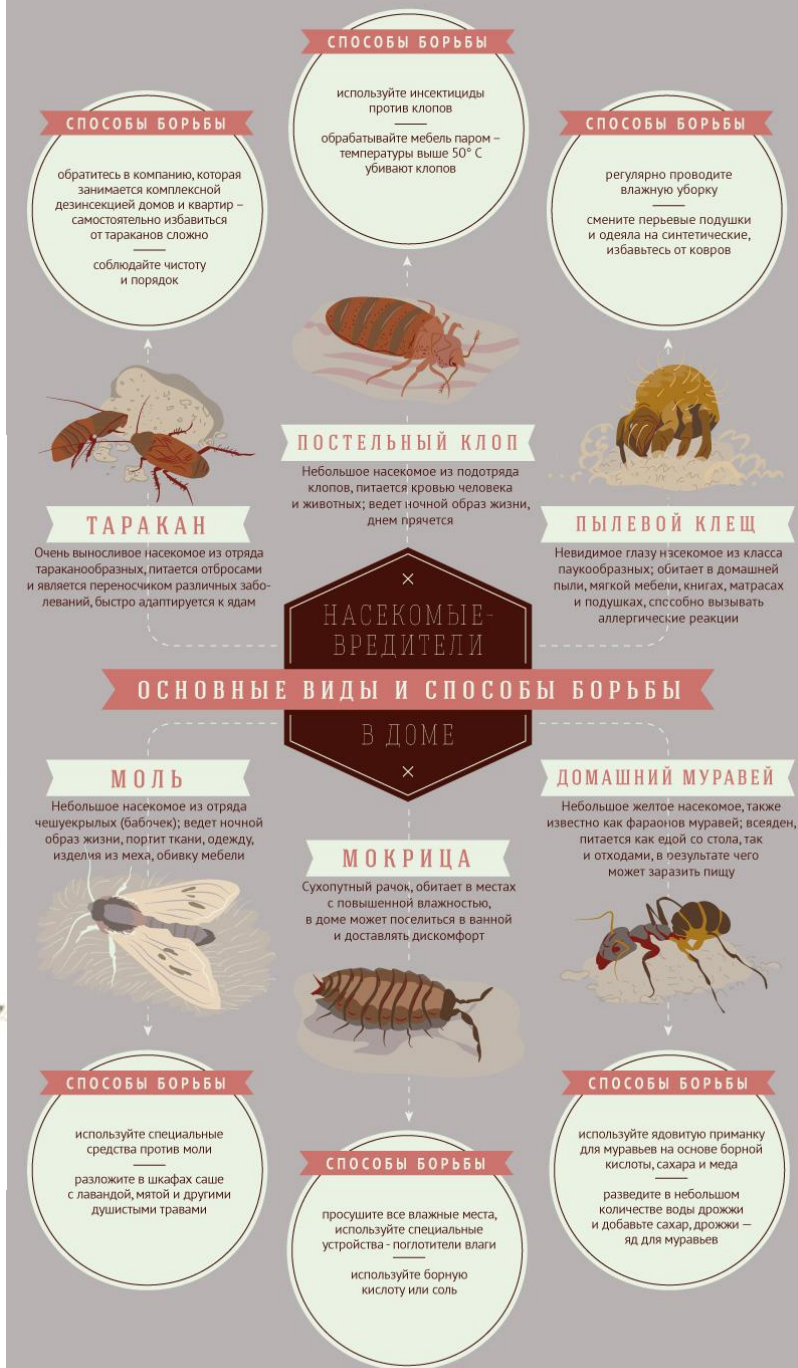
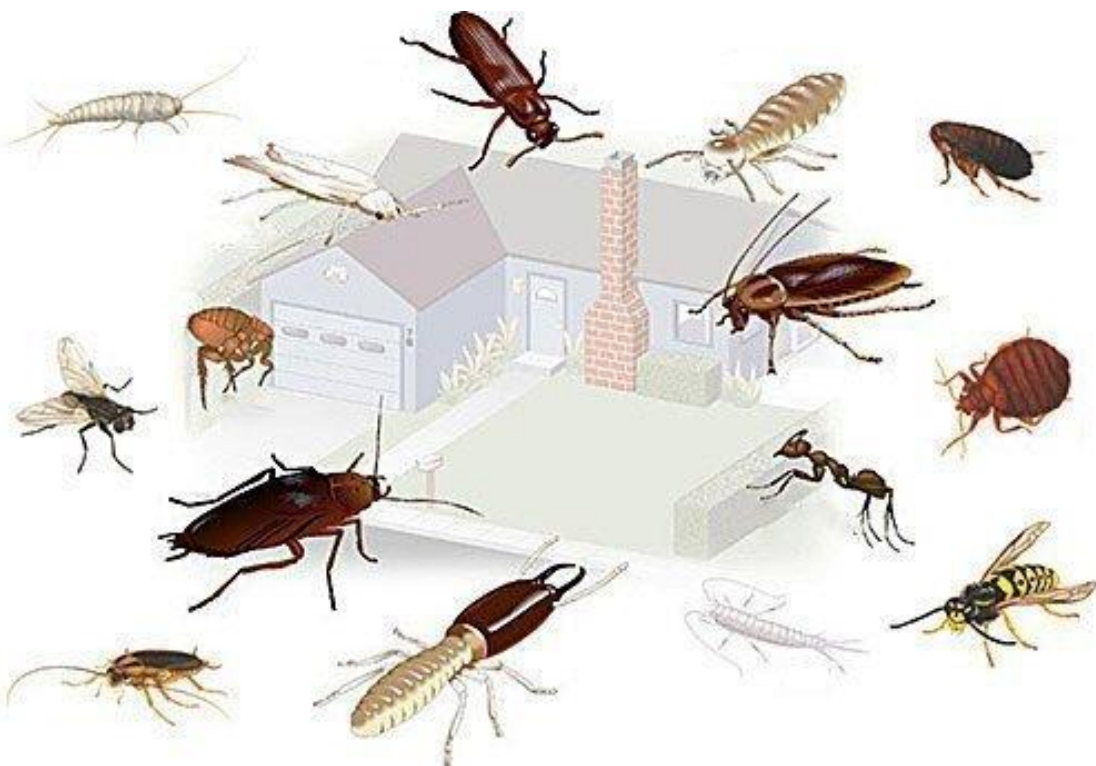


## Внесок домашніх улюбленців

Ідентифіковано 56 родів бактерій, наявність яких у будинках пов'язана з присутністю собак, і 24 родів, які свідчать про присутність у помешканнях котів.



У домашньому середовищі також трапляються мікроорганізми характерні для комах – *Wolbachia*, *Buchnera*, *Rickettsia* і *Bartonella*.



## Найбрудніші місця у будинку

Зазвичай головним розсадником бактерій у будинку вважається **туалет**. Адже відомо, що з бризками води, що змивається в унітаз, на всі боки разносяться **фекальні мікроорганізми**, що служать джерелом багатьох інфекцій. Але в кожному будинку є безліч набагато брудніших місць. Надійний притулок бактеріям надає **зубна щітка** - тут накопичуються дрібні залишки їжі з наших зубів, а в поєднання з водою вони представляють чудовий субстрат для розвитку мікроорганізмів.

Те саме стосується **кухонних губок та кухонних дошок**, особливо якщо їх не мити негайно після використання. Притулками бактерій служать **клавіатури комп'ютерів та мишки, мобільні телефони, пульти дистанційного керування, вимикачі та дверні ручки**.

*Загальновідомими ефективними засобами боротьби з поширенням інфекцій є часте миття рук, регулярне вологе прибирання приміщень і систематичне провітрювання.*

## Мікрофлора біля будинку

Склад мікроорганізмів у безпосередній близькості біля будинків відрізняється від внутрішньої мікрофлори – зовні переважають бактерії порядків Actinomycetales і Sphingomonadales та гриби родів *Cladosporium* і *Toxicocladosporium*. Причому відмінності більш характерні для бактерій, ніж для грибів, більшість з яких потрапляє в будинок ззовні, тому 65% видів грибів трапляються і в будинку, і на вулиці. Загалом видова різноманітність мікрофлори в будинку приблизно на 50% вище, ніж зовні.

## Гриби внутрішніх приміщень

На відміну від бактеріальної, мікофлора внутрішніх приміщень відрізняється меншою різноманітністю, ніж зовні. Мікроскопічні гриби здатні викликати цілий спектр захворювань, особливо дихальних шляхів, які важко визначаються і лікуються. Причому тимчасові нездужання і хронічні хвороби можуть викликати не тільки мікроміцети, а й токсичні продукти їх метаболізму. Навіть якщо летючі органічні сполуки грибів мають відносно низьку токсичність, вони можуть спричиняти головний біль, відчуття дискомфорту і гострі порушення дихання. Характерними представниками будинків є види родів *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* і *Fusarium*, а також деякі дереворуйнівні гриби – *Stereum*, *Trametes*, *Phlebia* і *Ganoderma*.

## «Одомашнені» гриби

«Домашніми» можна вважати гриби, що живуть на шкірі та слизових поверхнях людей, зокрема *Candida* і *Trichosporon*, а також дріжджі *Saccharomyces*. Більшість з них нешкідливі, але *Aspergillus flavus* утворює гепатотоксичні з'єднання афлатоксини, в тому може викликати масові отруєння і ряд небезпечних захворювань людини. У повітрі приміщень частіше зустрічаються *Aspergillus versicolor*, *Penicillium aurantiogriseum*, *P. viridicatum*) і *Trichoderma*. Розвиток грибів у приміщеннях насамперед залежить від мікрокліматичних показників вологості, температури, запилення, вентиляції та термоізоляції.

*Зазвичай гриби розвиваються в темних, сирих і непровітрюваних місцях з відповідними субстратами, крім того видовий мікологічний склад залежить від географічного положення будинку і кліматичних умов*

## Мікрофлора в квартирах нових будинків

Дослідження розвитку мікрофлори в квартирах нових будинків **не виявили значних змін концентрацій або типів мікробіологічного забруднення між першим та другим роками заселення. Проте підвищення вологості та зниження температури повітря на вулиці, а також вітри з північного сходу сприяли підвищенню концентрації бактерій та грибів.**

При порівнянні зразків повітря з **кухонь, віталень, спалень та ванних кімнат не виявлено значних відмінностей у концентраціях повітряної мікрофлори, незважаючи на те, що вологі поверхні на кухнях та у ванних характеризувались значною популяцією бактерій та дріжджів.**

**Середні концентрації бактерій у повітрі становили 98 КУО/м<sup>3</sup> (26–372 КУО/м<sup>3</sup>) у приміщенні та 101 КУО/м<sup>3</sup> (28–364 КУО/м<sup>3</sup>) на вулиці (КУО – колонієутворюючі одиниці, які визначаються як число колоній на агаровому живильному середовищі, які виростили з відібраних зразків).**

**Середні концентрації грибів у повітрі становили 198 КУО/м<sup>3</sup>**



## Мікробонебезпечні громадські місця

- Насамперед під підозру потрапляють **громадські туалети** через небезпеку фекальних бактерій. До зон скупчення мікроорганізмів у туалетах відносяться механізми для змивання води, контейнери для туалетного паперу, ручки та замки кабінки, крани умивальників, нижня частина дозаторів рідкого мила і унітази.  
Багато мікроорганізмів сконцентровано у місцях **громадського харчування**.
- До **ресторанного меню** торкаються сотні людей, і при цьому ніхто не бачив, щоб його хтось дезінфікував.
- Дослідження показують високий вміст фекальних бактерій на **прикрасах коктейлів**, особливо залучають мікрофлору симпатичні часточки лимона.
- Не кожен заклад регулярно протиратиме **контейнери з приправами**, що стоять на столах (сіть, перець, цукор, кетчуп), адже до них теж торкаються сотні людей і не далеко не завжди чистими руками.
- У **громадському транспорті** не варто торкатися голою шкірою тканин оббивки сидінь. Є ризики заразитися коростою, якщо до цього там сиділа хвора людина. А якщо за поручні трималася людина з бульбашково-гнійничковими висипаннями на шкірі, то хвороботворні бактерії легко проникнуть у тіло інших пасажирів через подряпини, порізи та розчесані місця укусів комах.
- Небезпечними місцями є **сауна та басейни**, особливо душові та роздягальні. У місцях із підвищеною вологістю гриби зі шкіри хворих людей можуть потрапити в організм здорової людини, особливо за наявності тріщин на стопі або травм після відвідування педикюрного кабінету.
- Багато різноманітних бактерій на **ручках візків у супермаркетах**.

*А скільки ще нерозкритих мікробіологічних небезпек чекає на нас у громадських*

Проект **MetaSUB** було започатковано у 2013 році у Нью-Йорку і з того часу здійснюється щорічне **вивчення мікробіомів у метрополітенах великих міст**. Досліджуються проби повітря та зразки, отримані на твердих поверхнях, до яких торкаються люди.

Загалом у проекті брали участь 60 міст, де вдалося виявити понад 700 нових бактерій та понад 10 тисяч нових вірусів.

Прес-служба Інституту молекулярної біології та генетики повідомила, що у київському метрополітені виявили досить типових представників мікрофлори здорової людини.

Також виявлено бактерії, які характерні саме для київської підземки. Зокрема бактерія *Mycobacterium* sp. VKM Ac-1817D, яку вперше секвенували у 2015 році. Крім того, у київському метрополітені виявили бактерії чуми, а також кілька невідомих мікроорганізмів.



## Мікрофлора університетів

Внаслідок дослідження мікробіологічного забруднення повітря у різних приміщеннях університетських будівель у Познані (Польща) встановлено, що в усіх місцях у другій половині дня спостерігалось збільшення кількості бактерій та грибних спор. Очевидно, що це корелює із циркуляцією потоків студентів і викладачів. Найчастіше у зразках повітря траплялись представники родів бактерій і грибів *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Serratia*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Cladosporium* та *Alternaria*. Серед виявлених мікроорганізмів було відзначено наявність патогенних та алергенних видів.

# Мікроорганізми у лікарнях

Щорічно в США реєструється близько 1,7 мільйона випадків внутрішньолікарняних інфекцій, викликаних мікроорганізмами, при цьому 99 000 із них закінчуються летально. У розвинених країнах Європи смертність від внутрішньолікарняних інфекцій становить 25 000 випадків на рік, з них дві третини спричинені грамнегативними бактеріями. У нашій країні лікарняні інфекції вдвічі підвищують ризик смерті.

Вивчення внутрішньолікарняних інфекцій почалося понад 150 років тому, але вони, як і раніше, залишаються серйозною проблемою. Вони призводять до подовження термінів лікування, хронізації процесу, інвалідності, а найважчих випадках - до смерті хворого.

## **Внутрішньолікарняні інфекції**

Згідно з визначенням ВООЗ, **внутрішньолікарняними інфекціями (ВЛІ)** вважаються будь-які клінічно виражені захворювання мікробного походження, що вражають хворого в результаті його **госпіталізації або відвідування лікувального закладу, або виникають протягом 30 днів після виписки з лікарні.**

До ВЛІ також належать **інфікування співробітників лікарні, пов'язане з їх професійною діяльністю.**

Ці хвороби відрізняються **механізмами та факторами передачі, особливостями перебігу епідеміологічного та інфекційного процесів, а також особливою роллю медичного персоналу у виникненні, підтримці та поширенні осередків інфекції.**

Подібні інфекції можуть бути обумовлені широким впровадженням у практику інструментальних, ендоскопічних, біохімічних та інших методів діагностики, що призводять до порушення цілісності покривів тіла людини. Проблема в тому, що конструкція деяких медичних приладів не дозволяє зробити повну стерилізацію після кожної процедури, залишаючи шпаринку для проникнення небажаних мікробів у внутрішнє середовище організму людини.

## **Джерело лікарняних інфекцій**

Джерелами мікробного забруднення повітря в **стаціонарах** всіх типів є **медичний персонал і хворі**, які страждають на безсимптомні форми інфекційних хвороб, а також носії полірезистентних до антибіотиків патогенних штамів і умовно патогенних мікроорганізмів.

У приміщеннях **аптек** бактеріальне забруднення повітря, що відбувається за рахунок виділень **відвідувачів та працівників аптек**, має велике значення, оскільки є причиною можливого інфікування персоналу збудниками різних інфекційних захворювань, а також небезпеки потрапляння мікроорганізмів у лікарські засоби. Мікрофлора, що потрапила в лікарські препарати, призводить до зміни їх фізико-хімічних властивостей, зниження терапевтичної активності, зменшення термінів зберігання, може стати причиною розвитку захворювань і ускладнень у хворого.

## Агресивність лікарняних штамів

Штами бактерій, що утворюються в лікарнях, відрізняються надзвичайною агресивністю і стійкістю до більшості антибіотиків. В повітрі лікарняних приміщень домінують золотистий стафілокок і стрептококи у співвідношенні 70% до 30% відповідно.

Метицилін-резистентний *Staphylococcus aureus* став причиною смертоносної епідемії серед немовлят у пологових відділеннях багатьох розвинених країн. А у дорослих пацієнтів цей штам стафілококу підвищує ймовірність летального результату на 64%, ніж у носіїв звичайної форми цієї бактерії. Цей та інші інфекційні штами зародилися і поширилися саме в лікарнях, причому в умовах найсуворішої гігієни. При цьому ризик інфікування поширюється не тільки на пацієнтів, але й на лікарів і обслуговуючий персонал лікарень.

З іншого боку, у приміщеннях, де не дотримуються санітарних вимог, бактеріальна забрудненість повітря зростає за рахунок інших патогенних видів *Staphylococcus*, *Streptococcus pyogenes*, *Pseudomonas aeruginosa* і бактерій групи *Escherichia coli*, якщо концентрація останніх

## Госпітальні штами

Внаслідок циркуляції умовно патогенних мікроорганізмів у лікарні відбувається їх природний відбір із утворенням найбільш стійкого госпітального штаму. Мутації або горизонтальне перенесення генів за допомогою плазмід дозволяє лікарняним мікроорганізмам набути нових властивостей, нехарактерних для «диких» штамів цього виду.

Основні шляхи пристосування лікарняних штамів - це стійкість до одного або кількох антибіотиків широкого спектра дії та зниження чутливості до антисептиків. Шпитальні штами дуже різноманітні, у кожній лікарні чи відділенні можлива поява свого характерного штаму з властивим лише йому набором біологічних властивостей. При цьому популяції збудників ВЛІ відрізняються не тільки гетерогенністю, а й динамічністю в часі.

З лікарень антибіотикорезистентні штами поступово починають поширюватися у позалікарняне середовище, особливо це стосується грамнегативних бактерій



## Агенти внутрішньолікарняних інфекцій (ВЛІ)

Налічується понад 200 агентів, які можуть бути причиною ВЛІ.

До появи антибіотиків основними з них були **стрептококи та анаеробні палички**. Однак після початку клінічного застосування антибіотиків збудниками основних ВЛІ стали раніше непатогенні або умовно-патогенні мікроорганізми. До них відносяться стафілококи (*Staphylococcus aureus*, *St. epidermidis*, *St. saprophiticus*), стрептококи (*Streptococcus* sp.), ентерококи (*Enterococcus faecalis*, *Enterococcus durans*), ешеріхія (*Escherichia coli*), клебсієлтера (*Klebsiella pneumoniae*), протей (*Proteus mirabilis*), серрація (*Serratia marcescens*), псевдомонада (*Pseudomonas aeruginosa*). Нерідко зустрічаються ВЛІ, що викликаються *Providencia* sp., *Stenotrophomonas maltophilia*, *Acinetobacter baumannii*, *Citrobacter* sp., *Clostridium difficile* та іншими мікроорганізмами.

Дуже небезпечна комбінація **стафілокок + протей + синьогнійна паличка**, оскільки в результаті розвиваються особливо важкі деструктивно-некротичні ентероколіти з парезами кишечника, симптомами динамічної непрохідності, наслідком яких нерідко є летальний результат.

Роль **облігатно-патогенних мікроорганізмів** у розвитку ВЛІ невелика. У неінфекційних стаціонарах реєструється кілька нозологічних форм інфекцій, спричинених цією групою збудників. До них відносяться **віруси гепатитів, С, D, ВІЛ, грипу та інших ГРВІ, гострих кишкових вірусних**

# Основні збудники госпітальних інфекцій

## Грампозитивна кокова флора

### Рід *Staphylococcus* – каталазопозитивні коки.

Види: *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus saprophyticus*.

Рід *Streptococcus* - каталазонегативні коки.

Види: *Streptococcus pyogenes*, *Streptococcus pneumoniae*, *Streptococcus salivarius*, *Streptococcus mutans*, *Streptococcus mitis*, *Streptococcus anginosus*, *Streptococcus faecalis* – ентерококи.

Велика група умовно-патогенних грамнегативних паличкоподібних бактерій, яка в етіології ГІ зараз суттєво витісняє кокову флору.

Родина Enterobacteriaceae включає 20 родів.

*Escherichia* (два види: *E. blattae* та епідеміологічно значущий вид *E. coli*), *Salmonella* (серовари: *S. typhimurium*, *S. enteritidis* та ін.), *Shigella* (види: *Sh. Dysenteriae*, *Sh. flexneri*, *Sh. boydii*, *Sh. sonnei*), *Klebsiella* (*Kl. pneumoniae*, її біовари - *Kl. ozaenae*, *Kl. rhinoscleromatis*), *Proteus* (види: *Pr. vulgaris*, *Pr. mirabilis*), *Morganella* (вид *M. morganii* та ін.), *Yersinia* (види: *Y. pseudotuberculosis*, *Y. enterocolitica*), а також бактерії пологів *Hafnia*, *Serratia*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Edwardsiella*, *Erwinia* та ряд інших.

Представник родини *Pseudomonadaceae*, рід *Pseudomonas* (вигляд: *P. aeruginosa*), а також представники деяких інших сімейств.

# Основні збудники госпітальних інфекцій

## Умовно-патогенні та патогенні гриби

Рід дріжджоподібних грибів *Candida* (види: *C. albicans*, *C. guilliermondi*, *C. tropicalis* - всього 80 видів. 20 з яких патогенні для людини)

Рід цвілевих грибів *Aspergillus* (*A. fumigatus*, *A. flavus*, *A. niger* та ін.).

До збудників поверхневих і глибоких мікозів (можливо і внутрішньолікарняного походження) відносять також такі види, як *Histoplasma capsulatum*, *Histoplasma duboisii*, *Cryptococcus neoformans*, *Blastomyces dermatitidis*, *Coccidioides immitis* та деякі інші. У цій групі збудників ПІ нерідко розглядають і патогенні актиноміцети сімейства Actinomycetaceae, строго кажучи, віднесеного Міжнародною таксономічною класифікацією до 17 групи відділу бактерій: рід *Actinomyces* (види: *A. israelii*, *A. bovis*, *A. naeslundii*, *A. naeslundii*, всього понад 40 видів). До патогенних актиноміцетів відносять деякі види *Nocardia* (*N. asteroides*, *N. brasiliensis*).



# Основні збудники госпітальних інфекцій

## Віруси

Збудники простого герпесу, вітряної віспи та цитомегалії (рід *Herpesvirus* – близько 20 видів).

Збудники грипу (род. *Orthomyxoviridae*).

Збудники парагрипу, епідемічного паротиту, кору та респіраторно-синцитіальної інфекції (род. *Paramyxoviridae*).

Ентеровіруси та риновіруси (род. *Picornaviridae*).

Реовіруси (род. *Reoviridae*).

Ротавіруси – найпоширеніші збудники діареї у дітей у всьому світі, збудники вірусних гепатитів.



## Ековари

**Ековари** - варіанти одного виду мікроорганізму, які пристосувалися до проживання у певній екосистемі. Розрізняють лікарняні та позалікарняні ековари.

**Лікарняними** ековарами люди заражаються в основному в результаті ін'єкцій, операцій, переливання крові, гемосорбції, гемодіалізу, мануальних та ендоскопічних досліджень та інш. Збудники інфекцій проникають у внутрішнє середовище організму при пошкодженні слизових оболонок через опіки, травматичні рани, відкриті гнійно-запальні осередки. Лікарняні ековари здатні викликати госпітальну інфекцію не тільки у разі зниженої функції імунної системи, але й у пацієнтів з нормальною імунною відповіддю після ін'єкцій або операцій. Причому інфікуюча доза лікарняного ековару може бути невеликою.

Для появи інфекції, викликаної **позалікарняним ековаром**, крім зниження імунітету, необхідні ще дві умови: пасивне проникнення збудника у зовнішнє середовище організму та масивна інфікуюча доза.

## **Генетична стабільність лікарняних інфекцій *Pseudomonas aeruginosa***

Насамперед вважалося, що у лікарняному середовищі, бактерії змінюються прискореними темпами, збільшуючи таким чином генетичну різноманітність внутрішньолікарняної мікрофлори. Щоб прояснити це питання, датські вчені простежили генетичні зміни бактерії *Pseudomonas aeruginosa*, які відбувалися з 70-х років минулого століття в межах однієї з лікарень Копенгагена. Для цього вони використовували бактеріальні штами, виділені в аналізах хворих на муковісцидоз, оскільки *Pseudomonas aeruginosa* служить джерелом дихальних інфекцій, ускладнюючи перебіг цієї хвороби. Один варіант штаму протягом 35 років дав близько 200 тисяч поколінь, переходячи від одного пацієнта до іншого. У зв'язку з високою неоднорідністю умов та тривалим часом можна було б очікувати широкої генетичної диверсифікації вихідного штаму. Але виявилось, що внутрішньолікарняні інфекційні збудники після періоду швидких адаптацій змінюються відносно мало, швидкість мутацій у них низька і розщеплення на окремі лінії не відбувається. Ці спостереження на перший погляд здаються суперечливими, оскільки тривала еволюція в нестабільних умовах мала б сприяти підвищенню генетичного розмаїття. Проте з'ясувалося, що хоча внутрішнє середовище хворого пацієнта дуже нестійке і різнорідне через інфекції та постійне лікування всілякими препаратами, ця різнорідність не сприяє швидкому збільшенню генетичного розмаїття.

## ***Clostridium difficile***

Спороутворююча бактерія *Clostridium difficile* відноситься до стійких і важко викорінюваних збудників лікарняних інфекцій. Зараження відбувається через руки медичного персоналу, наприклад при визначенні ректальної температури, причому не допомагає навіть використання індивідуальних чохлів для датчиків. У хворих, які отримували антибіотики (навіть одноразово, перед операцією) під впливом токсинів *Clostridium difficile* можливий розвиток псевдомембранозного коліту. Основний прояв хвороби – пронос. У деяких хворих профузний пронос супроводжується інтоксикацією, високою лихоманкою, лейкоцитозом. Якщо пацієнт продовжує отримувати антибіотики до виписки, псевдомембранозний коліт може розпочатися вдома.

## **MRSA – привід для змін правил лікарняної гігієни**

Стійкі до більшості антибіотиків штами золотистого стафілокока (*methicillin resistant Staphylococcus aureus* – MRSA) стали справжньою карою лікарень. Незважаючи на всі зусилля, позбавитись цієї інфекції не вдається. Поза лікарнями бактерія, як правило, втрачає активність. Однак останнім часом все частіше трапляються випадки, коли інфекція виходить за межі медичних закладів. Хірург і спеціаліст з інфекційних захворювань Марк Шпігельман з Університетського коледжу в Лондоні вважає, що підвищені вимоги до гігієни в хірургічних клініках парадоксальним чином сприяють поширенню внутрішньолікарняних інфекцій. При цьому він вказує на два принципові факти, які мають пояснити неефективність боротьби з інфекцією у лікарнях. По-перше, надмірні заходи гігієни, які застосовують у лікарнях, особливо в хірургічних відділеннях, знищують нешкідливі бактерії, створюючи тим самим середовище для заселення бактеріями MRSA. По-друге, застосування антибіотиків у гігієнічних цілях, зокрема використання антибактеріального мила, не тільки веде до появи стійких до антибіотиків штамів, а й активізує у бактерій захисні механізми, які в менш агресивному середовищі не діють.

Спеціаліст з історії та розвитку інфекційних захворювань у стародавніх людських популяціях Марк Шпегельман пропонує вжити низку заходів щодо боротьби з інфекцією. Насамперед треба суворо розділити лікарні, де використовуються антибіотики від тих, де вони не застосовуються. Насамперед це стосується хірургії. Поділ має бути дуже жорстким. Персонал не повинен поєднувати роботу у лікарнях різного типу. При необхідності використовувати антибіотики у клініці, де вони заборонені, хворий повинен переводитися до іншого медичного закладу. Крім того, висувається несподівана пропозиція щодо зміни гігієнічних процедур. Пропонується замість антибіотиків під час підготовки до операції використовувати пробіотики, які допоможуть протистояти хвороботворним бактеріям.



## Мікроорганізми вентиляційних систем

Системи вентиляції та кондиціонування повинні покращувати стан повітря в приміщеннях і позитивно впливати на здоров'я. Проте, за певних умов, вони не тільки не покращують показники внутрішнього середовища, але і служать джерелом небезпечних для здоров'я людей мікроорганізмів. Ефективне функціонування систем вентиляції та кондиціонування, як і дотримання високих стандартів якості внутрішнього повітря, забезпечують комфорт та сприяють збереженню здоров'я населення.

Бактерії і спори мікроміцетів циркулюють по вентиляційних каналах, потрапляючи в приміщення, де при вдиханні людиною служать джерелом респіраторних, інфекційних, алергічних, імунних і небезпечних хронічних захворювань. Присутність в повітрі великої кількості грам-негативних бактерій або представників *Actinomycetales* свідчить про наявність у приміщеннях поверхонь підвищеної вологості, дренажних пристроїв або зволожувачів систем підігріву, вентиляції та кондиціонування, де і живуть ці мікроорганізми. Небезпечні патогени можуть з'являтися в вентиляції в результаті попадання в шахти тварин, птахів і комах, які служать їх переносниками.

Сучасні багатоповерхові адміністративно-громадські та житлові будівлі, промислові споруди та інші місця масового скупчення людей – це зони підвищеної аеробіологічної небезпеки поширення інфекцій. При цьому системи кондиціювання і вентиляції при неправильній експлуатації можуть стати джерелами поширення мікроорганізмів в будь-яких приміщеннях. Темне, вологе і тепле середовище вентиляційних каналів вважається ідеальним для підтримання життєздатності більшості мікроорганізмів. Особливу небезпеку становлять зволожуючі компоненти систем кондиціювання, які забезпечують бактерії і гриби водою, необхідною для їх життєдіяльності і розмноження. Крім того, в системах вентиляції і кондиціювання накопичуються забруднювачі, що служать субстратом для живлення мікроорганізмів. Разом з повітрям в системи вентиляції потрапляють будь-які зважені частинки з приміщень – побутовий або будівельний пил, шерсть тварин, волосся людей, ворс від одягу та килимових покриттів. На стінки вентиляційних проходів налипають жирові відкладення, багаті поживними речовинами для розвитку мікроорганізмів.

## Історія легіонелли

Вперше увагу на проблему мікробіологічного забруднення вентиляційних систем звернули у 1976 р., коли під час з'їзду Американського легіону у Філадельфії (США) на пневмонію захворіло 221 учасників, 34 з яких померло.

Згодом з'ясувалося, що спалах інфекції викликали бактерії, виділені із охолоджувальної рідини кондиціонерів, тому в пам'ять загиблих учасників з'їзду вони отримали назву *Legionella*.

Природним резервуаром представників цього роду бактерій слугують прісні водойми, але *Legionella* також освоїли штучну нішу систем кондиціювання і вентиляції, де циркулює вода оптимальної температури, а дрібнодисперсний аерозоль сприяє поширенню техногенної інфекції.

Патогенними для людей є 17 з 41 видів *Legionella*, причому 90% легіонельозів пов'язують з видом *L.pneumophila*, а інші випадки спричинені видами *L. micdadei*, *L.longbeuchae*, *L.dumoffii* та *L.bozemanii*. Згадані бактерії висіваються з рідин кондиціонерів, промислових і побутових систем охолодження, систем питної води, басейнів, бойлерних і душових установок, обладнання для респіраторної терапії, акваріумів та фонтанів. Ці аеробні, грамнегативні, внутрішньоклітинні патогени часто колонізують гумові поверхні, наприклад, шланги водопровідного, медичного і промислового обладнання. Слід підкреслити, що незважаючи на широке розповсюдження, епідемічної небезпеки дана інфекція практично не представляє, так, протягом 1949–2015 рр. із 47 повідомлень зафіксовано 805 випадків легіонельозів, дев'ять з яких виявились летальними. Профілактика цього захворювання не передбачає ніяких особливих санітарно-епідемічних заходів крім звичайної санітарної обробки обладнання, але бактерія може зберігатись у важкодоступних частинах конструкцій.

## Системи вентиляції в офісних будівлях

В ході дослідження порівняння мікробіологічного складу різних систем вентиляції в 15 офісних будівлях найпоширенішими бактеріями виявились грампозитивні коки (головним чином з родів *Staphylococcus* та *Micrococcus / Kocuria*) та ендоспороутворюючі грампозитивні палички роду *Bacillus*, а серед грибів домінували представники родів *Penicillium*, *Aspergillus* та *Cladosporium*. При цьому концентрація бактерій і мікроміцетів в природно провітрюваних офісних будівлях становила від 70 до 1600 КУО/м<sup>3</sup>, а в офісах, обладнаних системами кондиціонування та механічної вентиляції, концентрації були нижчими – від 10 до 530 КУО/м<sup>3</sup> та 20 та 410 КУО/м<sup>3</sup> відповідно. Аналіз розподілу за розмірами показав, що мікроорганізми у повітрі представлені переважно поодинокими клітинами (1,1-3,3 мкм) та у формі великих агрегатів (4,7-> 7 мкм). Таким чином, ефективні системи механічної вентиляції та кондиціонування забезпечують кращу гігієнічну якість офісних будівель, ніж природна вентиляція

Робота вентиляційних установок, що визначають якість повітря повинна знаходитися під постійним мікробіологічним контролем, тому в останні роки багато уваги приділяється обстеженню мікрофлори систем вентиляції та кондиціонування приміщень. Серед загальної кількості випадків корозійного руйнування обладнання теплоенергетики та кондиціонування в умовах експлуатації більше 50% обумовлено життєдіяльністю корозійно-агресивних мікроорганізмів. Якщо сульфатредуючі і тіонові бактерії потрапляють у системи вентиляції та теплогазопостачання, вони не тільки забруднюють охолоджуючі системи і знижують теплопередачу, але й викликають корозію матеріалів обладнання. Фінансові збитки від мікробіологічної корозії у Великобританії кожен рік становлять щонайменше 1200 млн. фунтів стерлінгів. У США щорічні втрати від мікробіологічної корозії трубопроводів тільки під дією анаеробних сульфатредуючих бактерій оцінюються у 2000 млн. дол.

## Вентиляційні системи музеїв

Дослідження систем вентиляції та кондиціонування музейних приміщень виявило 48 видів грибів, що відносяться до 24 родів з відділів *Ascomycota*, *Zygomycota* і анаморфних грибів. Найпоширенішим виявились види *Penicillium aurantiogriseum*, *Cladosporium herbarum*, *C. sphaerospermum*, *Eurotium repens*, *Aspergillus versicolor*. Джерелом всіх видів грибів, виявлених на фільтрах в вентиляційних каналах, був пил залів і сховищ. Виняток склали лише два види *Penicillium waksmanii* і *Wallemia sebi*, які траплялись виключно на фільтрах систем кондиціонування. У зволожуючій установці системи кондиціонування було виявлено більше видів мікроміцетів, оскільки тут створюються більш сприятливі умови для розмноження грибів.

В лабораторних умовах на поживних середовищах були виділені *Aspergillus ochraceus*, *Chaetomium globosum*, *Cladosporium sphaerospermum*, *Eurotium repens*, *Penicillium aurantiogriseum*. В цілому дослідники відзначають відносну бідність видового складу і невелику кількість багатьох видів у всіх пробах з елементів систем забезпечення мікроклімату музейних приміщень, що ймовірно пов'язано з конструктивними особливостями систем кондиціонування в музеї. Коли спори мікроміцетів потрапляють на фільтри вентиляційних установок, вони знаходяться в постійному потоці повітря, що сприяє їх висушуванню і загибелі. Однак вдихання спор токсикогенних видів грибів становить потенційну небезпеку, зокрема спор *Stachybotrys*, які містять високі концентрації надзвичайно сильних мікотоксинів. Ці гриби асоційовані з паперовими



У зв'язку з пандемією COVID-19 активно досліджується повітряна трансмісія SARS-CoV-2, але поки що немає достатньо даних для однозначного з'ясування ролі систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря у поширенні COVID-19. Однак у ряді європейських країн вже опубліковано технічні вказівки щодо обмеження роботи систем вентиляції та рециркуляції відпрацьованого повітря. Проте обмеження використання кондиціонерів та систем опалення може створити тепловий дискомфорт і негативно вплинути на здоров'я та продуктивність праці.

Викликає занепокоєння і безпосереднє поширення вірусу SARS-CoV-2 через системи циркуляції повітря. Результати, отримані внаслідок досліджень попередніх епідемій коронавірусів, свідчать про небезпеку шляхів зараження через конструктивні дефекти в системі розподілу повітря з незбалансованою швидкістю потоку в припливних датчиках та витяжних решітках. Більшість з цих фактів було зібрано під час епідемії MERS, тому поки що невідомо, чи має вірус SARS-CoV-2 такий же потенційний переносу і розповсюдження. Водночас шість із семи досліджень респіраторних вірусних інфекцій довели, що системи кондиціонування відіграли роль у розповсюдженні захворювань. Але системи кондиціонування повітря, правила та вимоги до їх технічного обслуговування можуть різнитися між країнами, тому наявні дослідження поки що не узагальнено, і наразі неможливо аргументовано довести забруднення систем вірусними частинками SARS-CoV-2.

## **Санітарно-мікробіологічний стан повітря приміщень оцінюють за такими показниками:**

- 1) **Мікробне число** – кількість мікроорганізмів, виявлених у 1 м<sup>3</sup> повітря.
- 2) **Наявність санітарно-показових бактерій** – представників мікрофлори дихальних шляхів (гемолітичні стрептококи, золотистий стафілокок).

Бактеріальну чистоту повітря оцінюють диференційовано за загальним кількістю мікроорганізмів в 1 м<sup>3</sup> повітря, а в приміщеннях класів А, Б, і В необхідно контролювати наявність колоній *Staphylococcus aureus*, які не повинні визначатися в 1 м<sup>3</sup> повітря, і цвілевих грибів.

**Біологічними компонентами пилу** приміщень є мікрофлора (бактерії, віруси та гриби) верхніх дихальних шляхів, шкіри, мікроскопічні кліщі, споречки плесневих грибів.

**Санітарно-показовими мікроорганізмами** у повітрі закритих приміщень є стафілококи, зелені стрептококи, а показниками прямої епідемічної небезпеки – гемолітичні стрептококи. Незважаючи на



## **Мікробіологічний контроль повітря**

У нормах GMP, FDA, USP та стандарті ISO 14698 встановлені високі вимоги до мікробіологічної забрудненості повітря в чистих приміщеннях фармацевтичних підприємств.

*Мікробіологічний моніторинг повітря чистих приміщень здійснюють, використовуючи такі основні методи відбору проб:*

- ✓ **пасивний – седиментація**
- ✓ **активний – імпакція та фільтрування.**

Щоб оцінити мікробіологічний стан систем вентиляції та кондиціонування, необхідно провести лабораторні дослідження мікробіологічних показників у змивах для встановлення **ЗМЧ (загальне мікробне число)**, тобто. кількість мікроорганізмів за 1 м<sup>3</sup> повітря.

**Показником мікробної забрудненості повітря приміщень** служить наявність так званих **санітарно-показових мікроорганізмів**, в якості яких використовуються **стафілококи, стрептококи, дріжджоподібні та плісняві гриби**

# ВИЗНАЧЕННЯ МІКРОБНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ

Для визначення мікробної кількості повітря в приміщеннях застосовують:

- ❑ **Седиментаційний метод**, що ґрунтується на принципі осадження (седиментації). Дві чашки Петрі з живильним агаром залишають відкритими протягом 60 хвилин, після чого інкубують при 37С одну добу. Результати оцінюють за сумарною кількістю колоній, що виростили в обох чашках:
  - ✓ менше 250 колоній – повітря чисте,
  - ✓ 250-500 – забруднення середнього ступеню,
  - ✓ 500 – забруднений.
- ❑ **Аспіраційний метод** – аспірація певного обсягу повітря за допомогою приладу для уловлювання бактерій з повітря, з наступним висівом бактерій, що містяться в ньому, на поверхню живильного середовища. Після інкубування відібраних проб при температурі 37С протягом 1-2 діб в залежності від мікроорганізмів, що виділяються, проводиться підрахунок виростилих колоній. Враховуючи обсяг взятої проби повітря, обчислюється кількість мікробів 1 м<sup>3</sup> повітря.

Розрахунок роблять за такою формулою:

$$X = a / V \cdot 1000,$$

де а - кількість колоній, що виростили;

V - обсяг пропущеного повітря, дм<sup>3</sup> (л);

1000 - об'єм, що аналізується, дм<sup>3</sup> (л).

# Оцінка чистоти повітря за бактеріологічними показниками

Визначення кількості мікроорганізмів у повітрі є одним із гігієнічних критеріїв його чистоти. Про ступінь бактеріального забруднення повітря судять за загальною кількістю бактерій, що містяться в 1 м<sup>3</sup> повітря. Крім того, оцінку повітря можна дати за змістом санітарно-показових мікроорганізмів (різних видів стрептококів та стафілококів) – звичайних мешканців слизових оболонок дихальних шляхів людини.

**Зміст мікроорганізмів у повітрі по-різному в різні сезони року.** У холодний період повітря має менше мікробне забруднення, а влітку повітря більше забруднюється мікробами, що надходять до нього у великій кількості разом з частинками ґрунтового пилу. Повітря є важливим фактором розповсюдження патогенних мікроорганізмів. Через повітря передаються збудники багатьох захворювань, таких як грип, ГРЗ, ангіна, дифтерія, туберкульоз, кашлюк, чума та ін.

Оценка чистоты воздуха	Содержание микроорганизмов в 1 м <sup>3</sup> воздуха			
	Летний период (апрель-сентябрь)		Зимний период (октябрь-март)	
	Всего микроорганизмов	Гемолитического стрептококка	Всего микроорганизмов	Гемолитического стрептококка
Чистый	<3500	<24	<5000	<52
Умеренно загрязненный	3500-5000	24-52	5000-7000	52-124
Загрязненный	>5000	>52	>7000	>124

## Прибирання та провітрювання

Кількісний та якісний склад мікроорганізмів у громадських місцях залежить від щільності та активності руху людей, а також від санітарного стану приміщення. Це включає запиленість, вентиляцію, частоту провітрювання, спосіб збирання, ступінь освітленості та інші фактори. Для боротьби з бактеріальним пилом використовують механічні способи, зокрема вентиляцію та фіксацію пилу. Регулярні провітрювання та вологе прибирання приміщень знижує обсімененість повітря у 30 разів у порівнянні з контрольними приміщеннями. В операційних та лікарняних палатах рекомендують наносити на підлогу пилозв'язувальні засоби, наприклад веретене масло. Боротьба з бактеріальним пилом починається з блокування джерел утворення пилу в приміщеннях: фільтрація повітря, що подається вентиляцією, знепилювання білизни, одягу, м'якого інвентарю в спеціальних умовах, просочення їх пилозв'язуючими засобами. Знезараження повітря проводять за допомогою бактерицидних речовин, ультрафіолетового випромінювання та аероіонізаторів. Однак мікроорганізми, що знаходяться у висушеному стані та фіксовані на частинках пилу, відносно стійкі до несприятливого впливу хімічних та фізичних факторів. Тим не менш, правильна вентиляція забезпечує зменшення концентрації частинок бактеріального пилу в повітрі та суттєво знижує небезпеку зараження.

## **САНАЦІЯ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА**

Одним із ефективних методів знезараження повітря є використання **бактерицидної дії ультрафіолетових променів** із довжиною хвилі 254-257 нм. Очищення та дезінфекція (санація) повітряного середовища закритих приміщень проводиться за допомогою спеціальних очисників та бактерицидних ламп. Використовують очищувачі повітря пересувні рециркуляційні (ВОПР-0,9, ВОПР-1,5).

З метою санації аптечних і лікувальних приміщень нині застосовуються бактерицидні увіолеві лампи БУВ-15, БУВ-30, які є газорозрядні ртутні лампи низького тиску.

### **Стельові бактерицидні опромінювачі (ПБО) та настінні бактерицидні опромінювачі (НБО)**

При тривалій роботі бактерицидних ламп у повітрі приміщень можуть накопичуватися озон та окис азоту в кількості, що перевищують ГДК цих речовин, тому використання ультрафіолетового опромінення потребує дотримання правил техніки безпеки.

**Пересувні бактерицидні опромінювачі** дають можливість ефективніше проводити знезараження повітря.

*Певною мірою знижують мікробну забрудненість повітря приміщень правильно організована вентиляція, регулярні провітрювання.*



# Біологічна очистка та дезодорація газоповітряних викидів

## *Методи дезодорації:*

- **термічний і термокаталітичний методи**, що засновані на процесах деструкції і окиснення **неприємно пахучих речовин (НПР)** киснем повітря, при підвищених температурах в газовому середовищі або на поверхні спеціального каталізатора;
- **метод абсорбції, заснований на промивці газів** рідкими поглиначами (вода, водні розчини лугів, кислот та інших хімічних окиснювачів);
- **метод адсорбції заснований на поглинанні НПР твердими сорбентами**, хімічними реагентами або спеціальними складами за атмосферних умов (температурах);
- **газофазна обробка** полягає у введенні у газоповітряні викиди потоку озону або спеціальних речовин, здатних нейтралізувати або маскувати неприємні запахи;
- **біологічне очищення** засноване на вловлюванні та нейтралізації НПР вологою масою або водною суспензією, що містить мікроорганізми.

*Очищення та дезодорація викидів в **біофільтрах та біоскруберах** вимагає найнижчих капітальних та експлуатаційних витрат.*

## Технічно і економічно вигідний природоохоронний захід

Біофільтрація є найбільш вигідною з економічної точки зору і найбільш відпрацьованою технологією очищення викидів. Вона може бути успішно використана для захисту атмосфери на підприємствах харчової, переробної, тютюнової, нафтопереробної промисловості, станціях очищення стічних вод, а також в сільському господарстві.

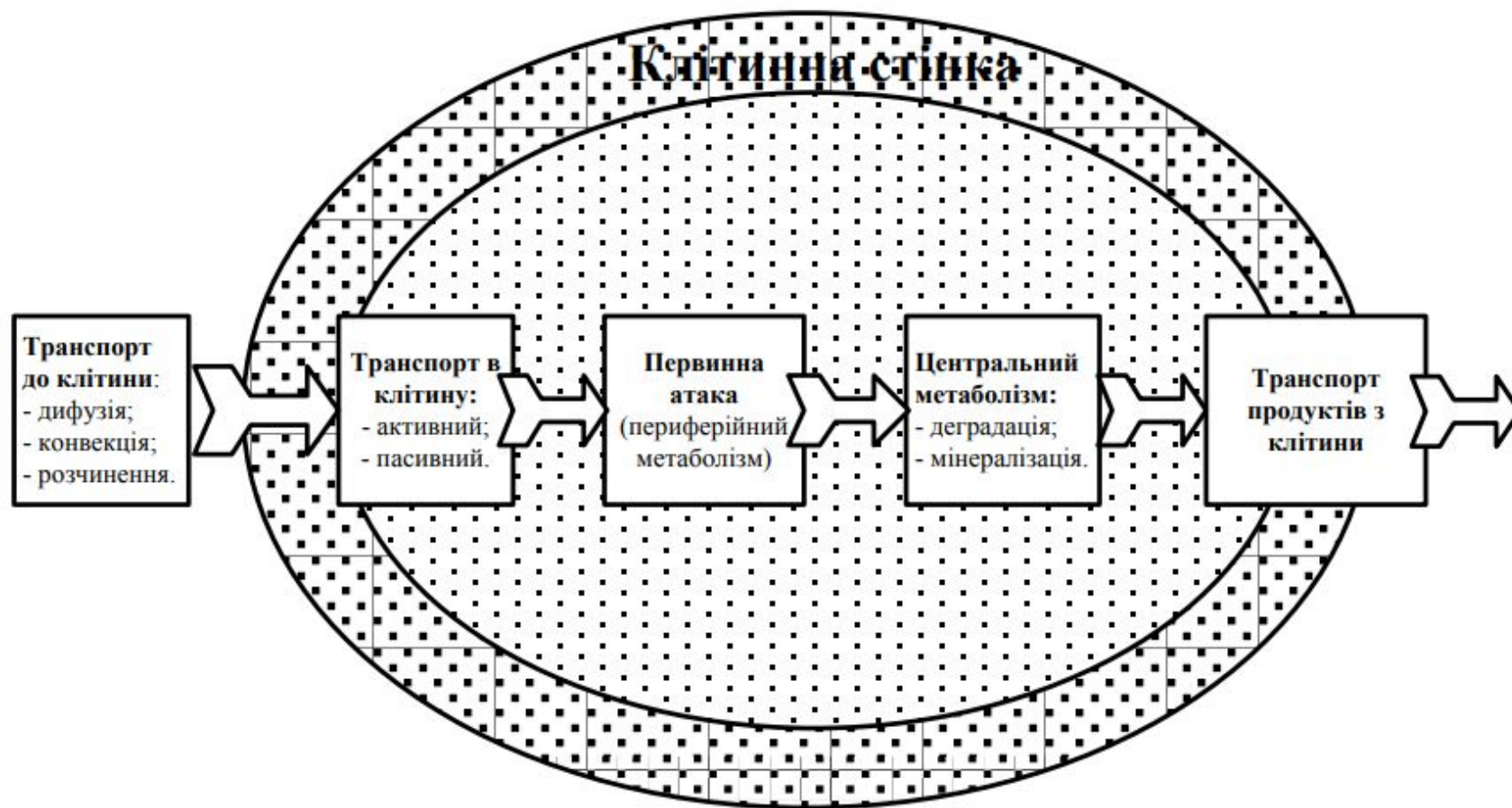


Рисунок 2.1. Основні стадії взаємодії органічного ксенобіотика і клітини

## Мікробіологічне очищення викидів

З кінця 60-х років ХХ сторіччя почалися дослідження та розробки методів мікробіологічної дезодорації, в якій штучно використовуються процеси, що протікають в природі. Ці методи цікаві тим, що будучи порівняно дешевими, вони тривалий час забезпечують стабільну та високу ефективність дезодорації, прості в експлуатації та не призводять до вторинних забруднень. Ці способи можна розглядати як комбінацію двох способів, які використовують для дезодорації газоповітряних потоків та очищення стічних вод.

При мікробіологічному очищенні викидів, шкідливі компоненти вибірково утилізуються різними штамми мікроорганізмів, які можуть бути дисперговані в промивній рідині (абсорбенті) або іммобілізовані на поверхні насадок у вигляді біологічної плівки.

Завдяки здібності мікроорганізмів до адаптації, цей універсальний принцип використовується для утилізації широкого спектру забруднюючих речовин органічного походження, а також деяких неорганічних сполук, наприклад, аміаку, фосфорної кислоти, мінеральних солей і т.д.

Шляхом біохімічного окиснення в клітинах мікроорганізмів забруднюючі повітря речовини найчастіше розкладаються до вуглекислого газу та води. Крім того, сукупність параметрів та властивостей біологічного очищення газоподібних викидів дозволяє

## Біологічні методи очищення повітря

Біологічні методи очищення повітря базуються на здатності мікроорганізмів руйнувати в аеробних умовах широкий спектр речовин і з'єднань до кінцевих продуктів,  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . Широко відома здатність мікроорганізмів до метаболізму аліфатичних, ароматичних, гетероциклічних, ациклічних і різних сполук вуглецю. Окрім органічних сполук мікроорганізми також утилізували аміак, окисляють сірчистий газ, сірководень і диметилсульфоксид. Існують дані про ефективне окиснення аеробними карбоксидобактеріями монооксиду вуглецю, що є одним з найбільш небезпечних повітряних забруднювачів.

Представники роду *Nocardia* ефективно руйнують стеріни і ксилол;  
*Hyphomicrobium* – дихлоретан; *Xanthobacterium* – етан і дихлоретан;  
*Mycobacterium* – вінілхлорид.

Найбільш широким спектром катаболічних шляхів характеризуються **ґрунтові мікроорганізми**. Так, тільки представники роду *Pseudomonas* здатні використовувати як єдиного джерела вуглецю, сірки або азоту понад 100 з'єднань – забруднювачів біосфери.

Одним з позитивних моментів мікробіологічного методу очищення газів, є те, що біохімічні реакції проходять при нормальних температурах і атмосферному тиску. На відміну від хімічних методів, які в загальних випадках вимагають підвищених температури і тиску, мікробіологічний процес очищення викидів є економним відносно витрат енергії

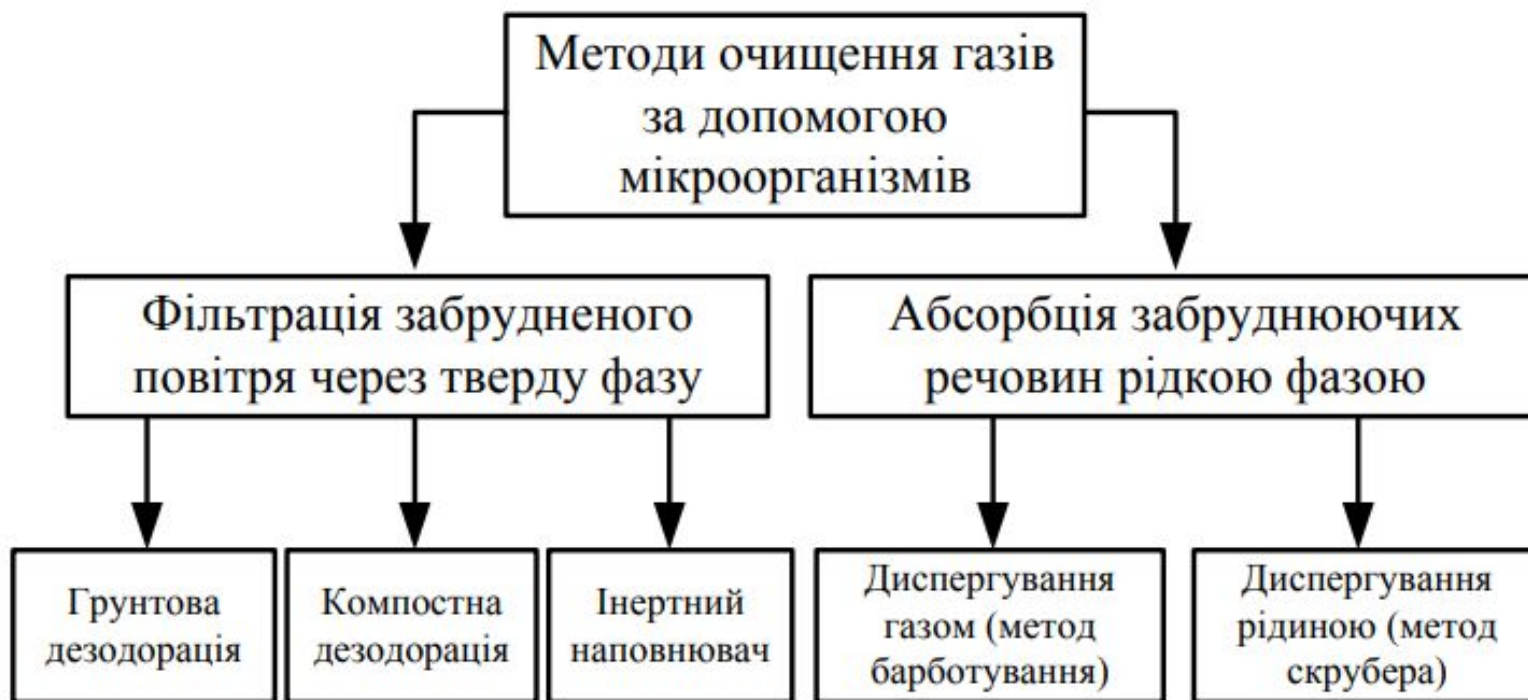


Рисунок 3.1. Класифікація методів очищення і дезодорації викидів за допомогою мікроорганізмів

# Знешкодження ксенобіотиків мікроорганізмами

Токсичні ксенобіотики знешкоджуються мікроорганізмами в навколишньому середовищі різними шляхами. Залежно від кінцевого результату перетворення тих або інших речовин розрізняють:

- повну деградацію (мінералізацію, повну деструкцію),
- неповну деградацію (трансформацію, часткову мінералізацію, часткову деструкцію),
- зв'язування полютантів або їх метаболітів з іншою речовиною – матрицею (полімеризація, кон'югація, конденсація).

**Периферійний метаболізм** – це початкові етапи метаболізму ксенобіотиків і інших субстратів.

*Багато синтезованих ксенобіотиків подібні за хімічними властивостями природним речовинам-аналогам. Біотрансформація таких забруднень здійснюється так само, як і їх природних аналогів.*

**Методами генної інженерії** можна створювати генетично модифіковані мікроорганізми і конструкції із зміненим периферійним метаболізмом.

**Молекулярна генетика** оптимізує біодеградуючі здібності мікроорганізмів, створює нові можливості і шляхи метаболізму в результаті збірки різних катаболічних сегментів з різних мікроорганізмів.

# Мікроорганізми-деструктори органічних токсикантів

Види мікроорганізмів	Ксенобіотики
Бактерії <i>Pseudomonas cepacia</i> , <i>Pseudomonas putida</i> , <i>Ps. aeruginosa</i>	Хлортолуол, 2-хлортолуол, 3-хлортолуол, 3,4-діхлорбензоат, 4- хлорбензоат, 2,4-ДХБ, 2,4- діхлорфенол, 2,4,5-Т пентахлорфе- нол, фторбензойна кислота
<i>Pseudomonas dehalogenes</i>	Моно-, ди- і трихлорацетати, моно-, ди- і трихлорпропіонати
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Фтор-, хлор-, бром і йодбензоати
Гриби <i>Aspergillus niger</i>	2-ХБ, 3-ХБ, 4- хлорфеноксиацетат, 2,4-Д
Бактерії рр. <i>Nocardia</i> , <i>Artrobacter sp.</i>	Монохлорфенол, монохлорбензоат

# Мікроорганізми-деструктори органічних токсикантів

Бактерії <i>Artrobacter sp.</i>	2,3,4,6-тетрахлорфенол
Бактерії <i>Arthrobacter globiforme</i>	2,4-Д
Бактерії <i>Arthrobacter simplex</i>	Нітрохлорбензол, динітрохлорбензол
Бактерії <i>Achromobacter</i>	Моно- і дихлорбіфеніли, пентахлорфенол
Бактерії <i>Rhodococcus opacus</i>	4-хлор- и 2,4-дихлорфенол
Бактерії <i>Rhodococcus chlorophenolicus</i>	Пентахлорфенол
Бактерії <i>Azotobacter sp.</i>	2,4,6-трихлорфенол
Бактерії <i>Nocardioideae simplex</i>	2,4-Д
Бактерії <i>Alcaligenes sp.</i>	Монофторбензоат
Бактерії <i>Alcaligenes eutrophus</i>	3-ХБ, 2,4-Д
Бактерії <i>Corynebacterium pyrogenes</i>	Токсафен
Бактерії <i>Clostridium sp.</i>	Ліндан
Гриби рр. <i>Anacyctis nidulans</i> , <i>Agmeneloum quardiplicatum</i> , <i>Trichoderma viride</i>	Діельдрін
Бактерії <i>Bacterium globiforme</i>	2,4-Д
Бактерії <i>Clostridium sp.</i>	ДДТ, 2,4-Д, о-хлорфенол, далапон
Гриби <i>Fusarium oxysporium</i>	ДДТ
Гриби <i>Aspergillus niger</i>	Пентахлорнітробензол
Гриби <i>Trichoderma viride</i> , <i>Fusarium aquaeductum</i>	п-Нітрохлорбензол і динітрохлорбензол



# Мікроорганізми-деструктори органічних токсикантів

Гриби <i>Fusarium oxysporium</i>	ДДТ
Гриби <i>Aspergillus niger</i>	Пентахлорнітробензол
Гриби <i>Trichoderma viride</i> , <i>Fusarium aquaeductum</i>	п-Нітрохлорбензол і дінітрохлорбензол
Бактерії <i>Streptomyces sp.</i>	Метоксихлор
Бактерії <i>Micrococcus sp.</i>	Елдрін, пентахлорфенол
Бактерії рр. <i>Alcaligenes</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Klebsiella</i>	4-Хлорбифеніл
Бактерії <i>Dehalobacter restrictus</i>	3-ХБ, бромо- та йодобензоати
Бактерії <i>Degalospirillum multivorans</i>	Тетрахлоретилен

## **Біодеградація, біофільтрація, біоабсорбція**

В процесі **біодеградації (мінералізації)** розрізняють два етапи:

I – первинне біорозкладання, при якому молекула трансформується під дією мікроорганізмів з утворенням сполук, які не проявляють характерних властивостей трансформованої речовини (наприклад, токсичності).

II – повне біорозкладання – молекула ксенобіотика перетворюється на мінеральні речовини і продукти, пов'язані з нормальними метаболічними процесами мікроорганізмів.

### **Для біофільтрації:**

- забруднюючі речовини, що видаляються з газів, повинні володіти здатністю осідати на фільтруючому матеріалі;
- речовини, що сорбуються, повинні біологічно розкладатися;
- продукти розкладання мікроорганізмів не повинні негативно впливати на біологічний процес розкладання.

### **Для біоабсорбції:**

- шкідливі речовини, що видаляються з викидів, повинні вимиватися (розчинятися, диспергуватися, конденсуватися) водою або культуральним середовищем (вода + мікроорганізми);
- шкідливі речовини, що вимиваються, повинні бути біологічно деструктивні.

*В даний час для біологічного очищення повітря використовується*

*біофільтрація, біоабсорбція*

Таблиця 3.1 – Класифікація установок біологічного очищення повітря

Тип установки	Робоче тіло установки	Водний режим	Основні стадії видалення домішок із забрудненого повітря	Джерело мінеральних солей
1	2	3	4	5
Біофільтр	Фільтруючий шар – мікроорганізми, іммобілізовані на природних носіях	Відсутня циркуляція води	1) Адсорбція матеріалом фільтруючого шару 2) Деструкція іммобілізованими клітинами мікроорганізмів	Матеріал фільтруючого шару
Біоскрубер	Вода, активний мул	Здійснюється циркуляція води	1) Абсорбція водою в абсорбері 2) Деструкція в аеротенку мікроорганізмами активного мула	Мінеральні солі додаються у воду
Біореактор з омиваним шаром	Біокатализатор – клітини мікроорганізмів, іммобілізовані на штучних і синтетичних матеріалах	Здійснюється циркуляція води	1) Дифузія через плівку, що покриває шар мікроорганізмів 2) Деструкція в біологічному шарі	Мінеральні солі додаються у воду

## Ґрунтова дезодорація

При проходженні через ґрунт забруднення, що знаходяться в повітрі, затримуються в проміжках між частинками ґрунту, адсорбуються на поверхні часток, розчиняються в ґрунтовій волозі і потім за допомогою ґрунтових мікроорганізмів піддаються окислювальному розкладанню або нейтралізації за рахунок хімічних реакцій інгредієнтів ґрунту.

Цей метод використовують переважно для очищення повітря від сірководня, фенольних сполук, а також нафтопродуктів. До переваг установок ґрунтової дезодорації відноситься:

- стабільність процесу;
- малі експлуатаційні витрати;
- простота управління.

Серед недоліків можна відзначають:

- потрібна велика площа для розміщення установок;
- необхідні спеціальні заходи захисту від погодних умов (дощу та снігу);
- біофільтрація лімітується температурними межами, допустимими для мікроорганізмів (нагріту газоповітряну суміш перед фільтрацією потрібно охолоджувати; у разі розміщення біофільтрів ґрунтової дезодорації за межами приміщень неможливо здійснювати очищення викидів взимку).

При русі в ґрунтовому середовищі в результаті адсорбційних і капілярних сил частина забруднень залишається позаду фронту

## Компостна дезодорація

Спосіб компостного очищення і дезодорації технічно аналогічний способу ґрунтової дезодорації, але в якості адсорбенту у фільтрах використовують відходи тваринництва, екскременти дощових черв'яків, залишки деревних грибів або інші агенти ґрунтової основи. Цей метод доцільно використовувати на тих самих підприємствах, де і утворюється компост: сміттєпереробні та сміттєспалюючі заводи, тваринницькі ферми тощо.

Як правило компостна дезодорація використовується для видалення фенольних сполук, сірководня, меркаптану, диметилсульфіду та ін. Біофільтри принципово відрізняються від хімічних фільтрів тим, що вони піддають їх переробці до нешкідливих речовин (до води і вуглекислоти). Біофільтри практично весь час залишаються чистими, тобто не містять шкідливих речовин. Процес здійснюється шляхом продування через фільтр забрудненого повітря. Газові біофільтри можуть знайти широке застосування в багатьох областях народного господарства для видалення небезпечних для здоров'я людини газів техногенного походження, зокрема з атмосфери заводських цехів, електростанцій та ін.

Галузь застосування в основному охоплюють газові потоки з невисокими концентраціями забруднюючих речовин із станцій очищення стічних вод, харчової, хімічної, фармацевтичної промисловості, сільського

Спосіб біофільтрації через шар наповнювачів технічно аналогічний ґрунтовій і компостній дезодорації і очищення забрудненого НПР повітря. В якості фільтруючого шару використовуються: цеоліт, керамзит, полімерні матеріали, деревні відходи і т.д. Оскільки даний фільтруючий шар не містить популяції мікроорганізмів, вона вноситься у вигляді активного мула, адаптованого актив-ного мула, асоціації або монокультур. Іноді доцільно спочатку нарощувати біоплівку на інертному носії за аналогією роботи біофільтрів для очищення стічних вод, а потім використовувати для очищення газів.

Біофільтр складається з наступних частин, які характерні для біофільтрів різних типів біологічного очищення стічних вод:

- фільтруючого наповнювача, поміщеного в резервуар круглої або прямокутної форми в плані (тіло біофільтра);
- водорозподільного пристрою для рівномірного зрошування водою поверхні наповнювача;
- дренажного пристрою для видалення профільтрованої рідини;
- повітророзподільного пристрою для надходження повітря всередину біофільтра.

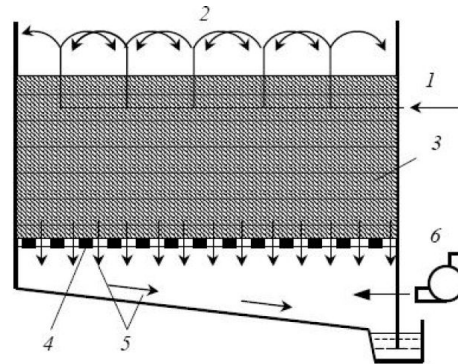


Рисунок 3.4. Розріз біофільтра

- 1 – подача зрошувальної вод; 2 – водорозподільний пристрій;  
3 – фільтруючий наповнювач; 4 – дренажний пристрій; 5 – стічна вода;  
6 – газорозподільний пристрій.

## **Технологічні рішення використання апаратів біологічної очистки газів**

Фірма «Енсо-Гутцайт» (Фінляндія) розробила метод «Енсо-Біокс» для дезодорації смердючих викидів сульфатно-целюлозного виробництва. Біофільтри «Енсо-Біокс» виконані у вигляді реактора, заповненого деревною корою, в який зверху подається вода і знизу газ. На поверхні і корі живуть мікроорганізми, що знешкоджують шкідливі з'єднання.

Деревна кора служить для мікроорганізмів хорошим ґрунтом і джерелом живлення.

Установка «Енсо-Біокс» складається з двох послідовно сполучених біофільтрів: вологого, зрошуваного зверху, і сухого. У мокрий біофільтр конденсат подається зверху.

Мікроорганізми взаємодіють із забрудненнями і очищений конденсат витікає знизу.

У Голландії, Франції проводяться дослідження по можливості використання біологічних установок з біофільтрами для очищення неприємно пахучих газів. Випробувана пілотна установка дезодорації газів сушильно-обпалювальних печей ліній фарбування заводу фірми «Сітроен» (Франція). Установка дезодорації діаметром 0,25 м на висоту 2 м заповнена сумішшю торфу з активним мулом. Для запобігання злежуванню шар торфу роздільний ґратами на чотири секції.

У Німеччині фірмою «Гебрюдер Вайс» створена промислова установка з біофільтрами. В установці рухається дрібнозернистий компост, одержаний із сміття і освітленого шламу, по напрямку зверху вниз на-зустріч газам, що відходять, підлягають очищенню.

Ряд фірм зарубіжних країн, наприклад: фірми «Грейс» (США), фірма «Жерфо» (Франція), ряд промислових фірм Японії займаються розробкою біофільтрів для дезодорації викидів від викидів ветсанутильзаводов, і закінчуючи викидами, що утворюються при сушці курячого посліду.

Фірма «Нозі кикайка кенюосе» (Японія) пропонує також два нові варіанти дезодорації газів сушарок курячого посліду за допомогою натурального ґрунту.

Таблиця 2.2 – Реакції трансформації і мікроорганізми, що беруть в них участь

Реакції трансформації забруднюючих речовин	Види мікроорганізмів
1	2
Гідроксилювання стероїдів	Гриби
Відновлення стероїдів	Бактерії р. <i>Mycobacterium</i>
Відновлення різних сполук	Факультативні анаеробні бактерії, дріжджі
Ізомеризація альдоз	Бактерії рр. <i>Streptomyces, Arthrobacter, Bacillus, Lactobacillus</i>
Окислювальні трансформації спиртів і вуглеводів, окиснення поліолов, тіогліколей	Оцтовокислі бактерії рр. <i>Acetobacter, Gluconobacter</i>
Епоксидація	Бактерії рр. <i>Bacillus, Pseudomonas, Mycobacterium, Micromonospora, Thermoactinomyces, Nocardia</i> , гриби рр. <i>Aspergillus, Penicillium</i>



Окиснення різних вуглеводнів, окиснення n-алканов	Бактерії pp. <i>Pseudomonas</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Mycobacterium</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Pseudomonas</i> , дріжджі pp. <i>Candida</i> , <i>Rhodotorula</i>
Окиснення метану	Бактерії pp. <i>Methylococcus</i> , <i>Methylomonas</i> , <i>Methylobacter</i> , <i>Methylosinus</i> , <i>Methylocystis</i>
Розщеплювання ПАР	Бактерії pp. <i>Pseudomonas</i> , <i>Xantomonas</i> , <i>Mycobacterium</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Achromobacter</i> , <i>Alcaligenes</i>
Гідроліз глікозидних зв'язків	Цвілеві гриби <i>Aspergillus</i>
Гідроліз нітрлів і амідів	Бактерії pp. <i>Alcaligenes</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Brevibacterium</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Rhodococcus</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Micrococcus</i>
Амінування органічних кислот	Бактерії p. <i>Bacillus</i>
Руйнування гидразінов	Бактерії p. <i>Alcaligenes</i>
Гідроксилювання алкільних замісників циклічних з'єднань	Родококки групи « <i>Rhodochrous</i> »
Гідроксилювання кільця ароматичних з'єднань	Бактерії pp. <i>Pseudomonas</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Actinomyces</i> , гриби p. <i>Aspergillus</i>
Окиснення аміногрупи	Бактерії p. <i>Streptomyces</i>
Дезамінування	Дріжджі
Трансформації, сполучені з розщеплюванням ароматичного кільця	Бактерії pp. <i>Pseudomonas</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Actinomyces</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Rhodococcus</i> , <i>Rhodobacter</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Mycobacterium</i> , <i>Corynebacterium</i> , цвілеві гриби

Трансформації хлорованих і поліхлорованих ароматичних сполук	Бактерії рр. <i>Pseudomonas</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Rhodococcus</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Achromobacter</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Flavobacterium</i> , цвілеві гриби рр. <i>Aspergillus</i> , <i>Phanerochaete</i> , <i>Fusarium</i>
Окиснення хлорованих розчинників	Бактерії рр. <i>Methylobacter</i> , <i>Methylococcus</i> , <i>Pseudomonas</i>
Галогенування	Морські мікроорганізми і водорості
Відновне дегалогенування	Бактерії рр. <i>Escherichia</i> , <i>Aerobacter</i>
Анаеробне відновлення галогенованих сполук	Бактерії рр. <i>Desulfomonile</i> , <i>Dehalobacter</i> , <i>Dehalospirillum</i>
Анаеробне окиснення ароматичних вуглеводнів	Бактерії рр. <i>Thauera</i> , <i>Azoarcus</i> , <i>Geobacter</i> , <i>Desulfobacula</i> , <i>Desulfobacterium</i>
Анаеробне окиснення аліфатичних вуглеводнів	Бактерії рр. <i>Desulfovibrio</i> , <i>Desulfobacula</i> , <i>Desulfobacterium</i>
Анаеробне окиснення фенолів	Бактерії рр. <i>Pseudomonas</i> , <i>Paracoccus</i>
Окиснення фенольних кілець, деструкція полімерів, утворення зв'язаних залишків	Цвілеві гриби рр. <i>Phanerochaete</i> , <i>Nematoloma</i> , <i>Cladosporium</i> , бактерії р. <i>Streptomyces</i>
Деструкція ПАР	Бактерії рр. <i>Pseudomonas</i> , <i>Nocardia</i>

## Статті за темою презентації

1. Микроорганизмы в наших жилищах / Т. І. Кривомаз // Фармацевт практик. – 2018. – № 4. – с. 36-38.
2. Микроорганизмы в общественных местах / Т. І. Кривомаз // Фармацевт практик. – 2018. – № 5. – с. 28-29.
3. Микроорганизмы в больницах / Т. І. Кривомаз // Фармацевт практик. – 2018. – № 6. – с. 24-26.
4. Микроорганизмы в вентиляционных системах / Т. І. Кривомаз // Фармацевт практик. – 2018. – № 7/8. – с. 40-41.
5. Оцінка впливу систем вентиляції на мікробіологічну безпеку та мікрокліматичні умови приміщень / Т. І. Кривомаз, Д. В. Варавін, Р. В. Сіпаков, Р. С. Кузьмішина // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. - 2020. - Вип. 35. - С. 49-57.
6. Біологічна очистка та дезодорація газоповітряних викидів : навч. посібник / О. В. Шестопапов [та ін.] ; ред. О. В. Шестопапов ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : НТУ "ХПІ" 2015. – 116 с.