

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**БІОБЕЗПЕКА ВИКОРИСТАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЙ:**

конспект лекцій для здобувачів вищої освіти СВО «Бакалавр»  
освітньої спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» денної  
форми навчання



**МИКОЛАЇВ  
2021**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**БІОБЕЗПЕКА ВИКОРИСТАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЙ**

конспект лекцій для здобувачів вищої освіти СВО «Бакалавр»  
освітньої спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» денної  
форми навчання

**МИКОЛАЇВ  
2021**

**УДК 606**

**Б 63**

Друкується за рішенням науково-методичної комісії факультету технології виробництва і переробки продукції тваринництва, стандартизації та біотехнології Миколаївського національного аграрного університету від 25.02.2021 р., протокол №7.

Укладачі:

Патрєва Людмила Семенівна  
Люта Ірина Миколаївна

Рецензенти:

**О. І. Юлевич** – к. т. наук, доц. кафедри генетики, годівлі тварин та біотехнології Миколаївського національного аграрного університету.

**О. О. Стародубець** – к. с.-г. наук, доц. кафедри птахівництва, якості та безпечності продукції Миколаївського національного аграрного університету.

**Б63 Патрєва Л.С., Люта І.М.** Біобезпека використання біотехнологій : конспект лекцій / Л.С. Патрєва, І. М. Люта. Миколаїв : МНАУ, 2021. 110 с.

У конспекті лекцій викладено основні відомості про посилення дії екзогенних факторів на спадковість живого організму; проблеми екологічних змін у навколишньому середовищі, що викликані створенням нових генетично модифікованих організмів та розповсюдженням сучасних біотехнологій різного напрямку, включаючи і створення трансгенних організмів.

Розраховано на студентів вищих аграрних навчальних закладів III-IV рівнів акредитації (162 – «Біотехнологія та біоінженерія»).

УДК 606

©Миколаївський національний аграрний  
університет, 2021

©Патрєва Л.С., Люта І.М., 2021

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕДМОВА.....</b>	<b>6</b>
<b>ТЕМА 1. СИСТЕМА БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ: ПРЕДМЕТ, ПОНЯТТЯ, ПРИНЦИПИ, НАПРЯМКИ ФОРМУВАННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ</b>	
1. Основні поняття біобезпеки.....	8
2. Основні принципи державної системи біологічної безпеки.....	13
3. Основні напрямки формування та функціонування біологічної безпеки на рівні держави.....	14
<b>ТЕМА 2. СПАДКОВІСТЬ І МІНЛИВІСТЬ – ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ЖИВОГО</b>	
1. Одиниця спадковості – ген. Горизонтальне та вертикальне перенесення генів.....	21
2. Геном організму. Геном про- та еукаріотів.....	24
3. Пошкодження ДНК і мутації – основа мінливості.....	33
4. Положення вірусів у системі живого.....	35
5. Особливості еволюції вірусів на сучасному етапі.....	41
<b>ТЕМА 3. СУЧАСНА БІОТЕХНОЛОГІЯ ТА ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ</b>	
1. Роль біотехнології в оздоровленні біосфери.....	50
2. Використання сучасної біотехнології в сільському господарстві та інших галузях господарювання.....	55
3. Інтродукція нових видів організмів та її вплив на довкілля.....	58
<b>ТЕМА 4. ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНИХ ОРГАНІЗМІВ ТА ЇХ БІОБЕЗПЕКА</b>	
1. Поняття про трансгенні організми та продукти.....	60
2. Використання біотехнології в медицині.....	61
3. Можливі ризики використання продукції з ГМ-джерел.....	64
4. Правове регулювання використання генетично модифікованих організмів в Україні та світі.....	70
<b>ТЕМА 5. ТЕМА 5. ОСНОВНІ ПРАВОВІ ДОКУМЕНТИ ТА ДОМОВЛЕНОСТІ В ГАЛУЗІ БІОБЕЗПЕКИ</b>	
1. Суть Картахенського протоколу та Орхуської конвенції.....	81
2. Кодекс Аліментаріус.....	83

3. Загальна декларація про геном людини і права людини ЮНЕСКО.....	89
<b>ТЕМА 6. ЛАБОРАТОРНА БІОБЕЗПЕКА</b>	
1. Основні запобіжні заходи з лабораторної біологічної безпеки....	91
2. Ризики для персоналу, які виникають при роботі в лабораторії...	93
3. Рівні біобезпеки лабораторій.....	95
<b>ТЕМА 7. БІОЛОГІЧНИЙ ТЕРОРИЗМ ТА ЗАСТОСУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ЗБРОЇ</b>	
1. Біологічний тероризм та біологічна зброя.....	100
2. Агротероризм.....	106
<b>ЛІТЕРАТУРА.....</b>	<b>108</b>

## ПЕРЕДМОВА

Біобезпека використання біотехнологій як наука об'єднує теорію і практику захисту всього живого від небезпечних біотичних факторів. Як інженерна дисципліна, вона охоплює організаційні та інженерно-технічні заходи і засоби, які спрямовані на захист робочого персоналу, населення і навколишнього середовища від впливу патогенних біологічних агентів.

Біологічна безпека на сьогодні – це сфера знань, де фокусуються останні досягнення біології, генетики, епідеміології, мікробіології, імунології, біотехнології, екології та багатьох інших наук про життя.

Біобезпека є однією з найважливіших складових екологічної та національної безпеки України. Нині в країні існує тенденція до посилення негативного впливу біологічних чинників на населення та довкілля, можливість виникнення загроз біологічного походження, пов'язаних з розвитком сучасних біотехнологій та появою синтетичної біології, проявами біотероризму, відсутністю чітко визначеної процедури провадження генетично-інженерної діяльності тощо.

Реалізацію державної політики у сфері забезпечення біологічної безпеки планується здійснити шляхом створення та ефективного функціонування національної системи біологічної безпеки та біологічного захисту, яка передбачатиме прогнозування, профілактику, ідентифікацію та протидію існуючим загрозам біологічного походження, ліквідацію наслідків надзвичайних ситуацій в результаті впливу небезпечних біологічних чинників довкілля, можливих актів біотероризму.

Розв'язання проблеми можливе шляхом: удосконалення єдиної національної системи виявлення біологічних загроз, що передбачає створення опорних Центрів у адміністративних одиницях України; удосконалення законодавства України, що регулює питання біологічної безпеки та біологічного захисту; удосконалення механізму державного регулювання, здійснення контролю і забезпечення координації взаємодії центральних органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, органів управління потенційно небезпечними об'єктами та суб'єктів господарювання, у власності або користуванні яких перебувають об'єкти підвищеного епідемічного ризику, удосконалення системи підготовки, перепідготовки фахівців з біологічної безпеки та біологічного захисту, розвитку нормативно-правової та методичної, науково-виробничої та матеріально-технічної бази інформаційного забезпечення заходів, зокрема підвищення рівня

інформування населення, забезпечення створення умов для підготовки фахівців різних кваліфікацій, а також для впровадження органами виконавчої влади інструментів управління ризиками негативного впливу небезпечних біологічних чинників на біосферу та навколишнє природне середовище.

# ТЕМА 1.СИСТЕМА БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ: ПРЕДМЕТ, ПОНЯТТЯ, ПРИНЦИПИ, НАПРЯМКИ ФОРМУВАННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ

1. Основні поняття біобезпеки.
2. Основні принципи державної системи біологічної безпеки.
3. Основні напрямки формування та функціонування біологічної безпеки на рівні держави.

## 1. Основні поняття біобезпеки

**Біологічна безпека (біобезпека)** – це стан середовища життєдіяльності людини, при якому відсутній негативний вплив його чинників (біологічних, хімічних, фізичних) на біологічну структуру і функцію людської особи в теперішньому і майбутніх поколіннях, а також відсутній незворотній негативний вплив на біологічні об'єкти природнього середовища (біосферу) та сільськогосподарські рослини і тварини.

**Біологічна безпека** – стан, при якому дія біологічних об'єктів або їх компонентів, з них отриманих речовин не викликає біохімічних, генетичних змін в організмі. Біологічна безпека має тісний зв'язок із загальним станом навколишнього середовища, соціально-економічним розвитком суспільства.

З іншого боку, біологічну безпеку можна розцінювати як ступінь захищеності об'єкта від впливу біоризиків, тобто – це запобігання шкоди від потенційних і реальних біологічних загроз. Біобезпека стосується багатьох сфер життєдіяльності людини і тісно пов'язана із:

- епідеміологічною безпекою;
- військовою безпекою;
- безпекою лікарських засобів (хімічне та біологічне забруднення, фальсифікація);
- безпекою харчових продуктів;
- екологічною безпекою.

Найпоширенішим проявом біологічної небезпеки є масові захворювання, епідемії, пандемії серед людей та епізоотії серед тварин. У зв'язку із станом довкілля хворіють не тільки люди, тварини, але і рослини.

Надмірна хімізація навколишнього середовища, біологічне забруднення сприяють появі спонтанних мутацій, перед усім у мікроорганізмів.



Наслідком цього є виникнення нових резервуарів інфекцій, що негативно впливає на стан здоров'я людини і біологічну стабільність флори та фауни.

До основних джерел, що можуть створювати надзвичайні ситуації біологічного характеру належать наступні фактори:

- масові спалахи інфекційних захворювань (епідемії, епізоотії й епіфітотії (інфекційні хвороби тварин і рослин);

- безпосередні природні резервуари патогенних мікроорганізмів і неконтрольоване вивільнення або розповсюдження живих організмів;

- можливе використання досягнень фундаментальної біології, як засобів біологічного тероризму (біотероризм) і застосування біологічної зброї (біологічна агресія);

- екопатогени, що ушкоджують фізичні об'єкти навколишнього середовища;

- лікарські препарати хімічного та біологічного походження;

- інфекції, пов'язані з наркоманією та секс-індустрією (ВІЛ-інфекція, гепатит типу С та ін.);

- нові технології застосування клітин людини й тварин як засобів терапії неінфекційних захворювань;

- біотехнологічні виробництва, що ґрунтуються на використанні ГМО, з невстановленими механізмами впливу на екосистеми;

- аварії та диверсії на об'єктах, де проводяться роботи з патогенними й лабораторно-модифікованими мікроорганізмами.

Базовим критерієм біологічної безпеки є оцінювання ризиків.

**Біологічний ризик** – це поєднання ймовірності виникнення шкідливого впливу та ступеня його впливу в тих випадках, коли джерелом такого впливу є біологічний агент. Важливо правильно оцінити рівень біологічного ризику, зумовленого біологічною небезпекою, що враховує адекватність будь-яких наявних механізмів реагування на дану небезпеку. Це становить основу практичної біобезпеки.

Біологічні ризики поділяють за впливом на: індивід, групу людей, що зв'язані спільною діяльністю, територію (населення окремого регіону країни чи групи країн).

Крім того, біологічні ризики можна умовно класифікувати на такі групи (рис.1): інфекції, біокатастрофи, біотероризм і генна інженерія, біоризики при роботі в лабораторіях з речовинами, що містять біологічний матеріал та робота з наноматеріалами.



*Рис. 1. Основні групи біологічних ризиків*

**Інфекції** належать до найзагрозливішої групи біологічних ризиків. У світі щороку реєструють близько 2 млрд випадків зараження різними інфекціями, внаслідок яких помирає понад 17 млн осіб. Важливою є медична, соціальна й економічна значущість інфекційних захворювань.

Сьогодні епідемії безконтрольно поширюються унаслідок змінених умов життя (урбанізація, погіршення соціально-екологічних умов, нові технології у медицині та виробництві продуктів харчування, значна інтенсифікація міграційних процесів, міжнародний туризм і торгівля, мікробні адаптації та мутації, руйнування та порушення природних екологічних систем та ін.).

У цьому аспекті найбільшу біологічну загрозу становлять:

- подолання мікроорганізмами міжвидових бар'єрів (антропозоозни, інфекції віддалених біологічних видів);
- інфекції, «що повертаються» (re-emerging) – інфекції, керовані за допомогою вакцинації, що активувалися після періоду епідеміологічного благополуччя та виникли на нових територіях, або інфекції, що активувалися після періоду епідеміологічного благополуччя унаслідок згортання програм імунізації населення;
- інфекції, що виникають на нових територіях (завезення рідкісних інфекцій або таких, що раніше не зустрічалися);
- нові (emerging) інфекції, що їх спричиняють раніше невідомі патогени, які несподівано з'явилися у популяції людини або швидко

розширюють свою присутність у популяції (вірус грипу H5N1 (1997-2006), вірус Західного Нілу (1999-2006) та ін.);

- зростання епідеміологічного значення умовно-патогенних мікроорганізмів і підвищення частоти захворюваності на опортуністичні інфекції (інфекції, які проявляються в осіб з імунодефіцитними станами будь-якого походження);

- поширення нозокоміальних (госпітальних) інфекцій.

З терміном «біологічний ризик» тісно пов'язане таке поняття, як «*патогенний біологічний агент*». Розрізняють такі патогенні біологічні агенти:

- збудники паразитарних захворювань;

- небезпечні й особливо небезпечні інфекції, у тому числі природньоосередкові, спонтанні й ті, «що повертаються»;

- пошкоджені фактори – продукти життєдіяльності мікроорганізмів (токсини, ферменти, біорегулятори білкового походження, суперантигени, міні-антитіла), технофільні мікроорганізми та ін.;

- патогенні мікроорганізми, пріони – «повільні інфекції», пов'язані з деякими трансмісивними енцефалопатіями, такими як хвороба Крейтцфельдта-Якоба, синдром Герстмана-Шраусслера-Шейнкера тощо;

- патогени, полірезистентні до сучасних антимікробних препаратів;

- нові патогени, які виникають із непатогенних і патогенних штамів мікроорганізмів у результаті мутагенезу під впливом природних і антропогенних факторів;

- генетичні конструкції (вірусні вектори, двоспіральні РНК, онкогени, гени, що кодують білки-токсини).

**Біокатастрофи** часто виконують роль факторів поширення інфекцій.

Багато з соціальних потрясінь у минулому стали результатом поширення інфекцій унаслідок біокатастроф, що виникли природним шляхом (наприклад, пандемії чуми, епідемії холери, натуральної віспи, висипного тифу). Нині біокатастрофи також трапляються і включають:

- аварії на небезпечних біологічних об'єктах (біозаводи, військові науково-дослідницькі інститути та ін.);

- екологічно небезпечна техногенна діяльність (грунтові роботи, видобуток корисних копалин, дослідження пов'язані з вилученням із надр Землі давніх бактерій та інших організмів);

- неконтрольована техногенна діяльність (селекція і відбір антибіотикостійких патогенних штамів мікроорганізмів та ін.);
- природні катастрофи (землетруси, селі, повені, цунамі, що призводять до спалахів інфекційних захворювань).

**Біоризики при роботі в лабораторіях.** У лабораторіях де проводять дослідження біологічного матеріалу існують ризики потенційної біологічної небезпеки. Найвищий рівень біологічних ризиків існує при роботі з патогенними мікроорганізмами.

Роботи з виділення генетичного матеріалу та його використання, особливо високопатогенних збудників, також пов'язані з високим ризиком біологічної небезпеки. Небезпеку становить виділення патогенного агента у повітря, зараження персоналу чи навколишнього середовища.

Крім того біологічний матеріал, який знаходиться у лабораторіях, є потенційним джерелом біологічної зброї, а біологічні та медичні установи можуть бути використані для нелегальної розробки і виготовлення біологічної зброї для терористів.

**Біологічна зброя.** Біологічна (бактеріологічна) зброя належить до зброї масового ураження, дія якої базується на використанні хвороботворних властивостей мікроорганізмів (бактерій, вірусів, грибів) та їх токсинів.

Застосовують біологічну зброю у вигляді сумішей біологічного агента і спеціальних препаратів, що забезпечують сприятливі умови для патогена в процесі застосування.

Висока ефективність біологічної зброї обумовлена:

- малою дозою, діючого агента необхідного для інфікування;
- можливістю прихованого застосування на великих територіях;
- труднощами індикації;
- вибірковістю дії;
- сильним психологічним впливом;
- складністю ліквідації наслідків.

Можливі способи застосування біологічної зброї:

- аерозольний спосіб – зараження приземного шару повітря аерозолями біологічних агентів;
- трансмісивний спосіб – штучне масове поширення заражених кровосисних: кліщів, комарів, бліх та ін.;
- диверсійний спосіб;
- приховане зараження біологічними засобами замкнутих просторів життєдіяльності людей.

**Біотероризм.** Біологічний тероризм (біотероризм) – один із різновидів тероризму, що передбачає використання бактерій, вірусів, інших біологічних об'єктів, або токсинів у природній чи модифікованій людиною формі з метою зараження людей і поширення масової паніки. Біологічний тероризм як засіб масового ураження є предметом зростання стурбованості у сучасному світовому співтоваристві. З огляду на факт, що навіть у сучасних умовах дуже складно виявити й запобігти можливості біотерористичної атаки, цей сценарій ведення агресивних дій найбільше загрожує людству.

**Наноматеріали.** Сьогодні у світі активно проводяться дослідження і ведуться розробки у сфері нанотехнології. Не зважаючи на те, що використання нанотехнологій, безперечно, є одним з найперспективніших напрямів науки і техніки, важливим є потенційна небезпека використання наноматеріалів і нано-технологій, а також розробка критеріїв їх безпеки для здоров'я людини.

Безпека наночастинок – одна з основних проблем у нанотехнології. На сьогодні немає повноти даних щодо потенційних ризиків, пов'язаних з розвитком наномедицини і нанотехнологій для людського здоров'я та довкілля. Наноматеріали, використання яких набуває все більшої популярності в електроніці, косметології, хімічній промисловості та інших галузях, можуть потенційно викликати біонебезпечні ефекти.

## **2. Основні принципи державної системи біологічної безпеки**

Система біологічної безпеки держави повинна відповідати таким принципам.

**Принцип раціональності** – організаційна структура, сили і засоби системи повинні відповідати поставленим завданням, законодавству, економічним можливостям, політиці й міжнародним зобов'язанням.

**Принцип компетентності** – система повинна охоплювати всі види можливих біологічних загроз і надзвичайних ситуацій природного й техногенного характеру, а також актів біотероризму й біоагресії.

**Принцип оперативності і гнучкості** – система повинна бути постійно готовою до протидії біологічним загрозам, мати високий ступінь управління та швидкого реагування, можливість нарощування маневру силами та засобами адекватного масштабу, забезпечувати

швидке й цілеспрямоване подання інформації та команд за вертикальним і горизонтальним напрямками управління.

**Принцип превентивності** – система повинна забезпечувати зниження вірогідності виникнення надзвичайних ситуацій за рахунок комплексу засобів упереджувального характеру.

**Принцип єдності** – система повинна гарантувати скоординовану діяльність міністерств, відомств і служб за програмами і планами, що забезпечать біологічну безпеку.

**Принцип відкритості** – система повинна бути відкритою для міжнародного співробітництва в питаннях укріплення біологічної безпеки та в боротьбі з біологічним тероризмом.

**Принцип наукової обґрунтованості** – прийняття будь-яких рішень з біологічної безпеки має відбуватися на основі новітніх наукових досягнень.

**Принцип відсутності віддалених негативних наслідків** – прийняття будь-яких рішень не повинне мати віддалені негативні наслідки для людини або інших живих компонентів навколишнього середовища.

### **3. Основні напрямки формування та функціонування біологічної безпеки на рівні держави**

Політика України в галузі біобезпеки є частиною державної політики в галузі охорони здоров'я та охорони довкілля з позицій концепції стійкого розвитку. Загрози біологічного походження, які на сьогодні існують в Україні, можна поділити на ненавмисні та навмисні.

До **ненавмисних загроз** належать:

- інфекційні захворювання населення, неналежне утримання мікроорганізмів, поява особливо небезпечних інфекцій;
- інфекційні захворювання сільськогосподарських тварин, поширення шкідників сільськогосподарських рослин;
- масові отруєння та захворювання, зумовлені чинниками, які негативно впливають на здоров'я (неповноцінні чи фальсифіковані продукти харчування, неякісні ліки тощо);
- природні та генетично модифіковані збудники інфекційних захворювань, насамперед, природно-осередкових, „виникаючих” і „знову виникаючих”;

- неконтрольоване транскордонне перенесення й інтродукція чужорідних видів, включаючи генетично модифіковані організми і корми, отримані на їх основі;

- відсутність чітких кодексів поведінки при генно-інженерній та біотехнологічній діяльності.

До **навмисних загроз**, або свідомого створення та використання біозагроз проти людей, тварин чи рослин, належать:

- створення та використання біологічних агентів як біологічної зброї з метою масового ураження солдат та мирного населення під час воєнних дій;

- ураження людей та психологічний тиск на населення.

Наявна в Україні система біологічного захисту не в змозі прогнозувати розвиток ситуації, яку характеризує санітарно-епідеміологічне й екологічне неблагополуччя.

**Джерелами біологічної загрози** також можна визначити:

- природні та генетично модифіковані збудники інфекційних захворювань, перш за все, природно-осередкових, «виникаючих» і «повторно виникаючих»;

- неконтрольоване транскордонне перенесення та інтродукція чужорідних видів, включаючи генетично модифіковані організми і корми, отримані на їх основі;

- неконтрольована генно-інженерна діяльність і генотерапія;

- використання біологічних агентів з метою проведення актів біотероризму.

Тому у 2004 році Президентом України була створена Міжвідомча комісія з питань біологічної та генетичної безпеки. 23 червня 2004 року Указом Президента України за № 672/2004 затверджене Положення про Міжвідомчу комісію з питань біологічної та генетичної безпеки при Раді національної безпеки і оборони України, яке визначає, що вона (далі – Комісія) є робочим органом Ради національної безпеки і оборони України. У своїй діяльності Комісія керується Конституцією та законами України, актами Президента України і Кабінету Міністрів України та згаданим Положенням.

***Основними завданнями Комісії є:***

- аналіз стану національної безпеки України й можливих загроз для неї у сфері нових біотехнологій та генної інженерії;

- аналіз виконання завдань галузевих програм і виконання заходів, пов'язаних з реалізацією центральними органами виконавчої влади державної політики у сфері нових біотехнологій та генної інженерії;
- узагальнення міжнародного досвіду щодо формування та реалізації державної політики у сфері нових біотехнологій та генної інженерії;
- розроблення і внесення Президентові України та Раді національної безпеки і оборони України пропозицій щодо визначення національних інтересів України у сфері нових біотехнологій і генної інженерії та забезпечення біологічної й генетичної безпеки держави;
- вживання заходів, спрямованих на вдосконалення державної політики з питань біологічної й генетичної безпеки, унеможливлення проявів біотероризму; удосконалення системи правового забезпечення з питань біологічної та генетичної безпеки України;
- організація та визначення порядку міжвідомчої взаємодії міністерств, інших центральних органів виконавчої влади у сфері нових біотехнологій та генної інженерії;
- удосконалення системи оперативного інформаційно-аналітичного забезпечення Президента України, зокрема альтернативною інформацією, з питань біологічної та генетичної безпеки.

***Комісія для виконання покладених на неї завдань має право:***

- одержувати в установленому порядку безоплатно від центральних органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, підприємств, установ й організацій статистичні дані, інформацію, довідкові та інші матеріали, необхідні для вирішення питань, що належать до її компетенції;
- використовувати державні електронні бази даних, системи зв'язку і комунікацій;
- аналізувати виконання галузевих і відомчих науково-технічних програм, проектів, планів, заходів у сфері нових біотехнологій та генної інженерії;
- створювати за потреби експертні групи, залучати в установленому порядку представників органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, наукових установ, незалежних експертів для розгляду питань, що належать до її компетенції;
- організовувати проведення конференцій, семінарів, нарад з питань, вирішення яких належить до повноважень Комісії;



- брати участь у відповідних міжнародних заходах, у тому числі й за кордоном.

Раніше Комісія в основному опікувалася тільки комплексом проблем, пов'язаних з генетично модифікованими організмами (ГМО), потім тривалий час Комісія взагалі не працювала і продовжила роботу в новому складі, починаючи з вересня 2007 року.

З метою створення в країні ефективної системи біологічної безпеки, яка має стати невід'ємною частиною національної безпеки, Президент України у вересні 2007 р. підписав Указ, у якому первинна назва «Міжвідомча комісія з питань біологічної та генетичної безпеки» була змінена на «Комісія з біобезпеки і біологічного захисту». Вона трактує питання біобезпеки значно ширше, ніж тільки розгляд проблем, пов'язаних з ГМО, хоча останні залишаються в полі зору Комісії. Головою Комісії став академік НАН і АМН України С.В. Комісаренко.

31 травня 2007 року був прийнятий Закон України №1103-У «Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні генетично модифікованих організмів». Він регулює відносини між органами виконавчої влади, виробниками, продавцями (постачальниками), розробниками, дослідниками, науковцями та споживачами генетично модифікованих організмів та продукції, виробленої за технологіями, що передбачають їх розроблення, створення, випробування, дослідження, транспортування, імпорту, експорту, розміщення на ринку, вивільнення в навколишнє середовище та використання в Україні із забезпеченням біологічної й генетичної безпеки.

Закон містить визначення біологічної безпеки, яка є одним із складників генетичної безпеки, зокрема:

а) **біологічна безпека** – це стан середовища життєдіяльності людини, коли немає негативного впливу його чинників (біологічних, хімічних, фізичних) на біологічну структуру і функції людської особи в сучасному й майбутніх поколіннях, а також незворотного негативного впливу на біологічні об'єкти природного середовища (біосферу) та сільськогосподарські рослини і тварин;

б) **генетична безпека** – це стан середовища життєдіяльності людини, коли немає будь-якого неприродного впливу на людський геном, на геном об'єктів біосфери, а також неконтрольованого впливу на геном сільськогосподарських рослин і тварин, промислових

мікроорганізмів, який призводить до появи в них негативних та/або небажаних властивостей (Ст. 1).

Це перший законодавчий акт України, який повинен був забезпечити системний підхід до поводження з ГМО. Проте поспіхом внесений і прийнятий закон виявився досить загальним, і тому багато питань, які повинні бути врегульовані, залишилися поза ним. Крім того, було проігноровано його обов'язкове громадське обговорення, передбачене статтею 23 Картахенського протоколу, де йдеться про інформування громадськості та її участь у питанні, що стосується використання ГМО. Також варто зазначити, що у 2007-2009 роках його реалізація Урядом України не забезпечувалася, не приведені у відповідність із Законом чинні нормативно-правові акти Кабінету Міністрів України, а також не переглянуті і не скасовані нормативно-правові акти міністерств та інших центральних органів, що суперечать цьому Закону.

Як наслідок, в Україні на сьогодні немає дієвого державного контролю за ввезенням іноземними компаніями власних сортів рослин, у тому числі генетично модифікованих, що призвело до значних масштабів їх несанкціонованого поширення й використання. Генетично модифіковані сорти безперешкодно заволодівають великою часткою аграрного ринку України, що загрожує поступовою втратою продовольчої, а також біологічної та генетичної безпеки країни.

У Статті 7 Закону України «Про основи національної безпеки України» визначено, що на сучасному етапі основними реальними та потенційними загрозами біологічній безпеці України, стабільності в екологічній сфері є:

1) значне антропогенне порушення й техногенна перевантаженість території України, зростання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характерів;

2) нераціональне, виснажливе використання мінерально-сировинних природних ресурсів як невідновлюваних, так і відновлюваних;

3) неподоланність негативних соціальних та екологічних наслідків Чорнобильської катастрофи;

4) погіршення екологічного стану водних басейнів, загострення проблеми транскордонних забруднень та зниження якості води;

5) загострення техногенного стану гідротехнічних споруд каскаду водосховищ на р. Дніпро;

б) неконтрольоване ввезення в Україну екологічно небезпечних технологій, речовин, матеріалів і трансгенних рослин, збудників хвороб, небезпечних для людей, тварин, рослин й організмів, екологічно необґрунтоване використання генетично змінених рослин, організмів, речовин та похідних продуктів;

7) неефективність заходів щодо подолання негативних наслідків військової та іншої екологічно небезпечної діяльності;

8) небезпека техногенного, у тому числі ядерного та біологічного, тероризму;

9) посилення впливу шкідливих генетичних ефектів у популяціях живих організмів, зокрема генетично змінених організмів та біотехнологій;

10) застарілість та недостатня ефективність комплексів з утилізування токсичних й екологічно небезпечних відходів.

***У Законі України «Про стратегію національної політики на період до 2020 року» першочерговими завданнями для підвищення біологічної безпеки є:***

- забезпечення продовольчої безпеки;

- захист внутрішнього ринку від недоброякісного імпорту – постачання продукції, яка може завдавати шкоди національним виробникам, здоров'ю людей та навколишньому природному середовищу;

- створення національного центру сучасних (клітинних і генних) технологій;

- розроблення і впровадження ефективної системи боротьби з можливими проявами біотероризму;

- упровадження виробництва вітчизняних стратегічних медичних і ветеринарних препаратів для боротьби з найважливішими біологічними загрозами;

- забезпечення протягом першого етапу розроблення нормативно-правових актів з питань державного регулювання і контролю у сфері поводження з генетично модифікованими організмами та впровадження генетично-інженерної діяльності;

- удосконалення протягом першого етапу дозвільної системи у сфері поводження з генетично модифікованими організмами, у тому числі щодо їх транскордонних переміщень, та забезпечення координації генетично-інженерної діяльності.

**Отже, основи державної політики в галузі біологічної безпеки повинні містити:**

- створення державної системи біологічної та генетичної безпеки, що передбачає прогнозування, відвернення й ліквідацію біозагроз та їх наслідків;

- відповідність завдань державної системи біобезпеки потребам й економічним можливостям країни, пріоритетне забезпечення охорони життя і здоров'я людей на території України;

- визначення мети, основних принципів, пріоритетних напрямків, завдань і заходів у сфері біологічної безпеки особистості, суспільства й держави, а також механізмів та етапів реалізації державної політики;

- системні підходи до оцінки біологічних загроз і міжгалузевої взаємодії при їх профілактиці чи ліквідації;

- розроблення проектів законів, інших нормативно-правових актів, гармонізація їх з нормами міжнародного права, міжнародними угодами, стороною яких є Україна;

- зниження до мінімально прийняттого рівня ризику впливу небезпечних факторів на населення, виробничу й соціальну інфраструктуру та екологічні системи;

- оснащення сучасним обладнанням і методиками (у тому числі експрес- методами) контрольних і наглядових органів для індикації та контролю за вмістом токсичних матеріалів, патогенних мікроорганізмів й екопатогенів у довкіллі, продуктах харчування та лікарських засобах. пріоритетне забезпечення захищеності важливих хімічних, радіологічних і біологічних об'єктів виробничої та соціальної інфраструктури;

- розвиток фундаментальних і прикладних наук, технологій і техніки, інформаційних і прогнозно-аналітичних систем із забезпечення біологічної, зокрема генетичної, безпеки.

## ТЕМА 2. СПАДКОВІСТЬ І МІНЛИВІСТЬ – ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ЖИВОГО

1. Одиниця спадковості – ген. Горизонтальне та вертикальне перенесення генів.
2. Геном організму. Геном про- та еукаріотів.
3. Пошкодження ДНК і мутації – основа мінливості.
4. Положення вірусів у системі живого.
5. Особливості еволюції вірусів на сучасному етапі.

### 1. Одиниця спадковості – ген. Горизонтальне та вертикальне перенесення генів

Елементарною одиницею спадковості є ген. **Ген** - це ділянка молекули нуклеїнової кислоти, яка визначає спадкові ознаки організмів. Він кодує первинну структуру молекул поліпептиду, білка, певного типу РНК або ж взаємодіє з регуляторним білком. Гени, які несуть спадкову інформацію про певні ознаки (наприклад, розміри організмів, колір волосся, очей, форму плодів), можуть перебувати у різних станах (алелях).

Кожний ген складається з регуляторної частини (**промотору**), після якої знаходиться точка початку транскрипції **кодуючої частини**, на якій записана інформація про структуру білка і термінуючої частини, де завершується транскрипція. Транскрипція відбувається лише з дволанцюгової ДНК. Навіть якщо геном, як у деяких вірусів, представлений одноланцюговою ДНК, вона перед транскрипцією обов'язково переходить в дволанцюгову реплікативну форму.

**Алельні гени** – це гени, що перебувають у різних станах, але займають одне й те саме місце (люкус) в хромосомах однієї пари (гомологічних хромосомах) та визначають різні стани певної ознаки (високий чи низький зріст, руде чи чорне волосся, блакитні чи карі очі, овальна чи куляста форма плоду тощо).

Алельні гени можуть бути **домінантними** чи **рецесивними**. Алель, яка в присутності іншої завжди проявляється у формі кодованого нею стану ознаки, називається – **домінантною**, а та, що не проявляється – **рецесивною**. Явище пригнічення прояву однієї алелі іншою називається домінуванням (від лат. домінатіс – панівний). Наприклад, у помідорів алель, що зумовлює червоне забарвлення плодів, домінує над алеллю жовтого; у людини алель, що визначає карий колір очей, домінує над алеллю блакитного. Домінантні алелі

позначають великими латинськими літерами (A, B, C, D тощо), а відповідні їм рецесивні – малими (a, b, c, d тощо).

Певний ген може бути представлений не лише двома, а й значно більшою кількістю алелей (десятки, іноді сотні). Але при цьому слід пам'ятати, що в диплоїдних клітинах одночасно присутні лише два алельних гени, а в гаплоїдних – один. Наприклад, у людини три алельних гени (їх позначають IO, IA, IB) в різних поєднаннях визначають чотири групи крові: першу (IOIO), другу (IA або IAIO), третю (IBIB або IO) та четверту (IAIB). Існування різних алелей одного гена забезпечує комбінативну мінливість, бо різні поєднання алелей, одержаних від батьків, спричинюють прояв певних станів ознак у нащадків.

Сукупність генетичної інформації, закодованої в генах клітини організму, називається **генотипом** (від грец. генос – рід, походження і типос – відбиток). Унаслідок взаємодії генотипу з чинниками довкілля формується **фенотип** (від грец. фаїно – являю) – сукупність усіх ознак і властивостей організму.

Отже, предметом генетичних досліджень є явища спадковості й мінливості організмів.

**Спадковість** - це властивість живих організмів передавати свої ознаки й особливості онтогенезу потомкам забезпечуючи спадкоємність поколінь організмів.

**Мінливість** – здатність живих організмів набувати нових ознак та їхніх станів у процесі індивідуального розвитку. Спадковість і мінливість є протилежними властивостями живих організмів. Завдяки спадковості нащадки подібні до батьків, тобто зберігається стабільність біологічних видів. Мінливість забезпечує появу нових ознак та їхніх станів, завдяки чому відбуваються видоутворення та історичний розвиток біосфери в цілому.

Якщо гени розташовані в хромосомі лінійно, а частота кросинговеру відображає відстань між ними, то можна визначити місце розташування гена в хромосомі.

Перш ніж визначити, положення тобто його **локалізацію**, необхідно визначити, в якій хромосомі знаходиться даний ген. Гени, що знаходяться в одній хромосомі і успадковується сцеплено, складають групу зчеплення. Очевидно, що кількість груп зчеплення у кожного виду має відповідати гаплоїдному набору хромосом.

Цитологічна картина кросинговеру була вперше описана датським вченим Ф. Янсеном (1909 р.), який під час профазі I мейозу

спостерігав утворення *хіазм* (від грец. *chiasma* – перехрест), або *рекомбінантних вузликів* у вигляді білкових комплексів. У ділянках кожної хіазми відбувається обмін відповідними ділянками гомологічних хромосом (обмін алелями) – *кросинговер* (від англ. *crossing over* – перехрест).

Гени, локалізовані в одній хромосомі, утворюють *групу зчеплення* і успадковуються разом. Кількість груп зчеплення відповідає гаплоїдному набору хромосом, оскільки групу зчеплення складають дві гомологічні хромосоми, в яких локалізовані однакові гени (наприклад, у дрозофіли  $1n = 4$ , у людини  $1n = 23$ ).

Встановлення факту, що гени знаходяться в хромосомі в лінійному порядку і кожен ген займає своє певне й **постійне місце (локус)**, дало можливість створити генетичні карти хромосом, на яких показано порядок розташування генів у хромосомі і відносні відстані між окремими генами. Ці відстані можна обчислити, визначивши частоту кросинговера (перехресту хромосом) між окремими генами. Порівнявши частоту кросинговера між окремими парами генів, можна зробити висновок про порядок розташування генів у хромосомі.

**Генетична карта** – це графічне зображення хромосоми з позначенням на ній місця розташування генів і відносної відстані між ними.

**Горизонтальне перенесення генів** – будь-який процес, під час якого організм або клітина передає генетичний матеріал іншому організму (клітині), який не є його нащадком.

На відміну від цього, під час **вертикальної передачі** організм отримує генетичний матеріал від свого предка, наприклад свого батька або виду, від якого цей організм еволюціонував. Штучна форма горизонтальної передачі генів називається **генною інженерією**.

Генетика завжди більше зосереджувалася на поширенішій вертикальній передачі, але наразі стає все більш прийнятним, що горизонтальна передача гену – значне, істотне явище.

Горизонтальне перенесення генів відоміше серед бактерій, хоча і там значення, що надається йому у біології, зростає і воно підкреслюється, як важливий чинник «прихованих ризиків генної інженерії». Протягом минулих 10 років учені почали усвідомлювати значення горизонтального перенесення генів і серед вищих рослин та тварин. При зародженні життя на Землі він міг бути домінуючим процесом передачі генів.

Під час **вертикального перенесення гени** передаються від предків до нащадків, від материнської клітини до дочірньої. А при горизонтальному – гени переносяться від однієї клітини до іншої, яка не є її нащадком, а буває навіть є представником іншого виду. Особливо часто це явище спостерігається у бактерій та архей. Так вони обмінюються корисними для них якостями, які не завжди корисні для нас. Наприклад, генами стійкості до антибіотиків.

## 2. Геном організму. Геном про- та еукаріотів

**Геном** – це сукупність всієї спадкової генетичної інформації організму гаплоїдного набору, тобто всіх генів (екзогенних та інтрогенних ділянок), некодуючих ділянок ядерної ДНК і позахромосомного генетичного матеріалу (мітохондріальна, пластидна ДНК, плазмідни тощо).

Термін «геном» був запропонований Гансом Вінклером в 1920 році для опису сукупності генів в гаплоїдному наборі хромосом організмів одного біологічного виду. Первинний сенс цього терміну указував на те, що поняття генома на відміну від генотипу є генетичною характеристикою виду в цілому, а не окремої особини.

Велика частина ДНК еукаріотичних клітин представлена некодуючими послідовностями нуклеотидів, які не містять в собі інформації про білки.

Таким чином, основну частину генома будь-якого організму складає вся ДНК його гаплоїдного набору хромосом.

Генетична інформація в клітинах міститься не тільки в хромосомах ядра, але і у позахромосомних молекулах ДНК і РНК.

У бактерій до такої ДНК відносяться плазмідни і деякі помірні віруси, в клітинах еукаріотів – це ДНК хлоропластів (хпДНК), мітохондрій (мтДНК) та інших пластид.

Обсяги генетичної інформації, що містяться в клітинах зародкової лінії (попередники статевих клітин і самі гамети) і соматичних клітинах, у ряді випадків істотно відрізняються.

Отже, під **геномом організму** розуміють сумарну ДНК гаплоїдного набору хромосом і кожного з позахромосомних генетичних елементів, що міститься в окремій клітині зародкової лінії багатоклітинного організму.

**Розмір геному** – загальна кількість пар основ ДНК в одній копії гаплоїдного геному. Розмір геному позитивно корелює з



морфологічною складністю лише прокариотів та нижчих еукаріотів. Проте еукаріоти, починаючи з молюсків, втрачають цю кореляцію – у цих організмів розмір геному не відповідає еволюційній складності організму.

Сьогодні відповідно до біологічної класифікації все живе на Землі поділяють на 2 імперії: **клітинні та неклітинні** форми життя. Неклітинні форми життя представлені вірусами, яких вітчизняний вірусолог, академік Жданов В.М. (1970) запропонував об'єднати в царство *Vira*, тобто **Вірусів**.

За пропозицією вітчизняного вченого, академіка Вірменської ССР Армена Левонтовича Тахтаджана, ботаніка і систематика (1972), клітинну форму життя згрупувати в 4 царства, об'єднаних у 2 надцарства – надцарство прокариот і надцарство еукаріот. Надцарство прокариот включає одне царство Дробянки, або Монери із зарубіжної класифікації. Дробянки підрозділяють на підцарство бактерій і підцарство ціанобактерій (ціаном, або синьо-зелені «водорості» за старою назвою).

Серед надцарства еукаріотів виділяють 3 царства: рослини, гриби, тварини. Царство рослин ділять на 3 підцарства: багрянки (червоні «водорості» за старою номенклатурою); справжні водорості, вищі рослини. Царство грибів ділять на 2 підцарства: нижчих і вищих грибів. Царство тварин, найчисельніше із еукаріот, включає в себе понад 2-х млн. видів. Їх поєднують у 2 підцарства – одноклітинні тварини та багатоклітинні тварини

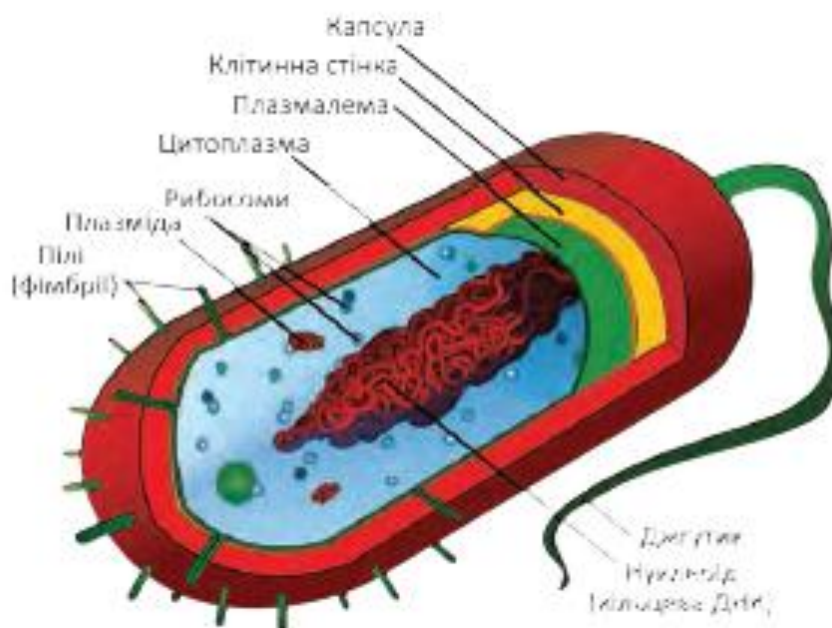
Усі живі організми з дуже простою біологічною організацією в порівнянні з рослинами і тваринами відносяться до царства протистів. В цій класифікації основною одиницею є *вид*. Організми одного виду характеризуються високою ступінню близькості морфологічних і біохімічних властивостей, в той же час істотно відрізняються по цим властивостям від організмів близьких видів. Біологічний вид позначається двома латинськими словами, перше – починається з прописної букви і означає *рід* організму, а друге – *вид*. Наприклад, кишкова паличка, яка виявлена в кишковому людині, називається *Escherichia* (назва роду) *coli* (назва виду).

Клітини прокариотів характеризує проста будова: вони не мають ядра і багатьох органел (мітохондрій, пластид, ендоплазматичної сітки, комплексу Гольджі, лізосом, клітинного центру) та відсутність системи внутрішньоклітинних мембран.

Лише в деяких бактерій, мешканців водойм або капілярів ґрунту, заповнених водою, є особливі газові вакуолі. Змінюючи об'єм газів у цих вакуолях, бактерії можуть пересуватися у водному середовищі з мінімальними витратами енергії.

На рисунку 2 схематично зображено внутрішню структуру прокаріот.

У цитоплазмі прокаріотів містяться рибосоми та різноманітні включення. Плазматична мембрана може утворювати гладенькі або складчасті заглиблення в цитоплазму. На складчастих мембранних можуть розташовуватися ферменти, рибосоми, а на гладеньких – фотосинтезуючі рибосоми, дрібніші, ніж у еукаріотів. До складу поверхневого апарату клітин прокаріотів входять пігменти. У клітинах деяких бактерій (наприклад, пурпурних) фотосинтезуючі пігменти можуть міститися в кулястих замкнених структурах, утворених випинаннями плазматичної мембрани. Їх називають хроматофорами (від грец. хрома – фарба та форос – той, що несе).



**Рис. 2. Схематичне зображення внутрішньої структури прокаріот**

Замість ядра в клітинах прокаріотів є одна чи кілька ядерних зон зі спадковим матеріалом. На відміну від ядра еукаріотів, ядерні зони прокаріотів мембранами від цитоплазми не відокремлені. Спадковий матеріал прокаріотів представлений кільцевою молекулою ДНК, прикріпленою в певному місці до внутрішньої поверхні плазматичної

мембрани. Отже, типових хромосом, які в клітинах еукаріотів розташовані в ядрі, у прокаріотів немає.

У цитоплазмі бактерій знайдено також невеликі позахромосомні кільцеві молекули ДНК. При діленні бактерії вони копіюються і потрапляють у дочірні клітини. Ці структури називаються **бактеріальними плазмідами**. Найбільші плазміди включають до 100 генів. Деякі плазміди здатні переноситися в бактерії, які не мають плазмід. Перенесення плазмід контролюють 20 генів. Із клітини-донора в клітину-реципієнт переноситься одна з ланцюгів молекули ДНК плазміди, яка зразу добудовується й перетворюється на дволанцюгову структуру, а потім замикається в кільце.

Більшість прокаріотів – одноклітинні організми, серед них є і колоніальні форми. Скупчення клітин прокаріотів можуть мати вигляд ниток, грон тощо. Іноді вони оточені спільною слизовою оболонкою – капсулою. При цьому контакти між сусідніми клітинами, що мають вигляд мікроскопічних каналців, заповнених цитоплазмою, відомі лише для деяких колоніальних ціанобактерій. Форма клітин прокаріотів різноманітна: куляста (коки), паличкоподібна (бацили), у вигляді вигнутої (вібріони) або спірально закрученої (спірили) палички тощо

Прокаріоти розмножуються нестатевим способом – поділом навпіл. Перед поділом клітина збільшується в розмірах, її спадковий матеріал (молекула ДНК) подвоюється. Отже, кожна з дочірніх клітин, які утворилися внаслідок поділу материнської, отримує подібну спадкову інформацію. У прокаріотів спостерігається і статевий процес – кон'югація. Під час кон'югації дві клітини обмінюються спадковою інформацією (у вигляді фрагментів молекули ДНК) через цитоплазматичний місток, що на певний час утворився між ними.

**Еукаріоти** (від грец. eu – добре, повністю, karyon – ядро) – це організми, клітини яких мають оформлені ядра (ядерні).

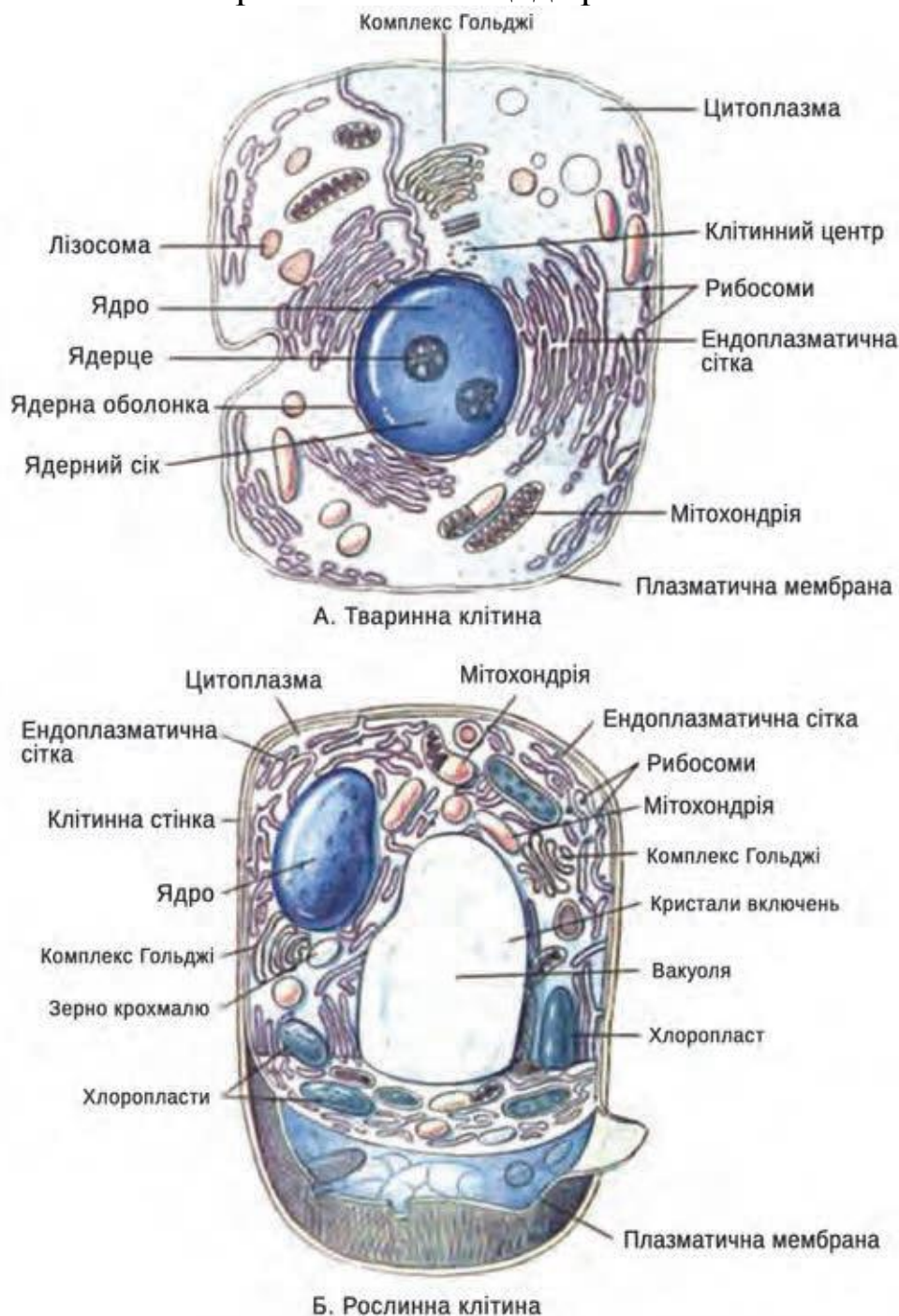
До еукаріот належать усі вищі тварини і рослини, а також одноклітинні й багатоклітинні водорості, гриби та найпростіші.

Клітина еукаріот складається з плазматичної мембрани, цитоплазми з різноманітними органоїдами та ядра (рис. 3). Рослинні клітини мають ще вакуолі, добре сформовану целюлозну оболонку й різного типу пластиди.

Диференціація протоплазми на ядро і цитоплазму, що виникла під час еволюції, уможливила мутагенну мінливість і програмування ядром синтетичних процесів у цитоплазмі.

Після виникнення мітотичного ділення така диференціація зумовила також і закономірний розподіл генетичної інформації в ряду поколінь клітин.

**Біологічні мембрани** (від лат. membrana – оболонка) – система динамічних спеціалізованих структур, які забезпечують компартменталізацію клітин й окремих органел, створюють умови для нормального перебігу метаболічних процесів. Клітинна мембрана володіє селективною проникливістю щодо різних компонентів і частин



**Рис.3. Схема будови клітини еукаріот**

клітини, що її складають, і таким чином регулює транспортні процеси. Крім того, мембрани забезпечують специфічну рецепцію на поверхні клітин, міжклітинні контакти, передавання нервових імпульсів, перебіг енергетичних процесів.

**Білки біологічних мембран** – це переважно ферменти; білки іонних каналів та інших систем мембранного транспорту; рецепторні білки, що зв'язують зовнішні ліганди та беруть участь у трансформації хімічного сигналу в біологічну реакцію клітини.

**Цитоплазма** (від грецької *kutos* – вмістилище, тут – клітина, і *plasma* – оформлене), або *матрикс* (від латинської *mater* – основа, буквальний переклад – мати), або *гіалоплазма* (від грецької *hyalos* – скло і *плазма*) являє собою напіврідке внутрішнє середовище клітини, багатофазну колоїдну субстанцію, що об'єднує в єдину систему всі клітинні структури й забезпечує їхню взаємодію в обміні речовин. Її склад визначає буферні й осмотичні властивості клітини. У цитоплазмі відбуваються всі процеси клітинного метаболізму (крім синтезу нуклеїнових кислот, який відбувається у ядрі).

#### ***Будова клітинного ядра еукаріот***

Діаметр ядра клітини тварини дорівнює ~5 мкм, а об'єм ~65 мкм<sup>3</sup>. За винятком того періоду, коли клітина ділиться, ядро щільно і майже рівномірно заповнене ДНК.

ДНК в еукаріотів розміщена у ядрі і поза фазами клітинного поділу входить до складу аморфного нуклеопротейнового утворення – ядерного хроматину.

**Хроматин** – це комплекс *ДНК з гістонами* (білки з лужними властивостями) та *негістонними білками*. Утворення хроматину є способом компактизації ДНК. Хроматин є основою структури хромосом. По суті, хроматин – це деспіралізованні хромосоми, які перебувають в активному стані при синтезі і-РНК (інформаційних РНК) і т-РНК (транспортних РНК).

**Хромосома** – це органіод клітинного ядра. Сукупність хромосом визначає спадкові властивості клітин і всього організму в цілому.

Хромосоми стають видимими в оптичному мікроскопі у вигляді чітких структур тільки після того, як вони (перебуваючи в деспіралізованому стані) починають спіралізуватися й ущільнюватися. У такому стані хромосоми неактивні.

Більшість клітин кожного виду має постійний подвійний (диплоїдний) набір хромосом або каріотип, утворений з двох одинарних (гаплоїдних) наборів, отриманих від матері та батька.

Клітинне ядро містить одне або декілька щільних *ядерць*. Ядерця – це місця синтезу й тимчасового накопичення рибосомної РНК (10-20% від загальної кількості), які у великих кількостях використовуються для збору хромосом.

**Ядерна оболонка** складається з двох мембран, розділених шаром у декілька десятків нанометрів; оболонка оточує ядро та відділяє перинуклеарний (навколоядерний) простір. У ядерних мембранах є пори діаметром 40-100 нм, по яких з ядра в цитоплазму виходять усі види РНК (інформаційні, транспортні й рибосомальні) та інші речовини. РНК синтезуються комплементарно на інформаційних ділянках ДНК.

*Функції ядра еукаріот та нуклеоїда прокаріот:*

- зберігає спадкову інформацію й забезпечує її передавання від материнської клітини дочірнім;
- керує процесами життєдіяльності клітини, зокрема регулює процеси біосинтезу білків;
- регулює біохімічні, фізіологічні й морфологічні процеси в клітині.

**Мітохондрія** (від грецької *mitos* – нитка і *chondrion* – зернятко, крупинка) – органоїд еукаріотної клітини. Це «енергетичні станції» клітини. Під час дихання в них відбувається остаточне окиснення речовин киснем повітря. Енергія, що виділяється, нагромаджується в молекулах АТФ, синтез яких проходить у цих структурах.

Усередині мітохондрії заповнені матриксом, у якому знаходяться кільцева молекула ДНК, РНК, рибосоми.

Кількість мітохондрій у клітинах різна, з ростом клітин чисельність їх збільшується внаслідок поділу. Мітохондрії беруть активну участь у детоксикації шкідливих речовин, здійснюючи ферментативні реакції, під час яких токсин або продукти їх перетворення стають максимально розчинними в рідкій фазі внутрішнього середовища клітини. Унаслідок підвищення розчинності токсичних речовин прискорюється виведення їх з клітини (організму). Відкриття мітохондріальної ДНК показало, що цитоплазма, як і ядро, несе специфічну спадкову інформацію.

Порушення цієї інформації шкідливими чинниками може спричинити виникнення раку, різновидність якого залежить від того, чи відбулося порушення обміну речовин у мітохондріях, чи відбулася цитоплазматична мутація або інші зміни. ДНК мітохондрій (як і ДНК прокаріот) більш «оголена» ніж ядерна ДНК еукаріот. Остання, на

відміну від мітохондріальної ДНК (і ДНК прокариот), як правило, захищена білками. Тривалість «життя» мітохондрій невелика. Наприклад, для клітин печінки вона становить близько 20 діб.

**Пластиди** характерні тільки для рослинних клітин. Існують три види пластид: хлоропласти, лейкопласти і хромопласти.

**Хлоропласти** – напівавтономні двомембранні органели подовгастої форми, зеленого кольору. Внутрішня частина заповнена строною, у якій занурені грани. Грани утворені з мембранних структур – тилакоїдів. У стромі є кільцева молекула ДНК, РНК, рибосоми. На мембранах розташовується фотосинтезуючий пігмент – хлорофіл. У хлоропластах відбувається фотосинтез. На мембрані тилакоїду відбуваються реакції світлової фази фотосинтезу, а в стромі – темної.

**Хромопласти** – двомембранні органели сферичної форми, що містять червоний, жовтогарячий і жовтий пігменти. Хромопласти утворюються з хлоропластів і надають забарвлення квіткам і плодам.

**Лейкопласти** – безбарвні пластиди в незабарвлених частинах рослини. Містять запасні поживні речовини, можуть на світлі перетворюватися у хлоропласти.

**Лізосома** (від грецької *lysis* – розкладання, розпад, розчинення і *soma* – тіло) – «тілце, що перетравлює». Вона є органомом тих клітин тварин і грибів, що здійснюють внутрішньоклітинне травлення. Лізосома являє собою пухирець («мішечок») діаметром 0,2-0,8 мкм, оточений одношаровою мембраною. Його вміст і мембрана включають набір гідролітичних ферментів, що виявляють активність у слабокислому середовищі. Утворення лізосом відбувається в апараті Гольджі.

Під дією низки шкідливих чинників, у тому числі токсичних речовин, у лізосомних мішечках утворюються «дірки», через які виходять ферменти і розщиплюють усі класи сполук – білки, жири і вуглеводи, що містяться у клітині. Навіть мізерні ушкодження лізосом ведуть клітину до загибелі, оскільки, хоча і повільно, але ферменти все ж таки потрапляють із лізосом до цитоплазми.

**Ендоплазматична мережа (ЕПМ), або ендоплазматичний ретикулум** (ендо від грецької *endon* – усередині).

**Ендоплазматична мережа** знаходиться в цитоплазмі і являє собою розгалужену мережу вакуоль і каналів, які сполучаються між собою й обмежені одношаровою мембраною (товщиною 5-7 нм), яка

може безпосередньо переходити в зовнішній прошарок мембрани ядра.

ЕПМ забезпечує комунікації між окремими внутрішньо-клітинними структурами і транспорт речовин із зовнішнього середовища в цитоплазму. Токсичні й канцерогенні речовини ушкоджують ендоплазматичну мережу, і це призводить до вакуольної дегенерації. Розрізняють гладеньку і гранулярну ЕПМ. На гладенькій проходить синтез ліпідів, вуглеводів; на гранулярній розташовуються рибосоми і синтезується білок.

**Рибосома, або гранула Паладе** – один з компонентів ендоплазматичної мережі, який має форму сферичної гранули діаметром у середньому 20 нм.

Функція рибосом – здійснення синтезу білків.

В еукаріотних клітинах утворення рибосом відбувається в ядерці. Потім вони відразу виходять з нього в ядро, а далі – у цитоплазму. Тому в самому ядрі немає цілком сформованих рибосом.

Кількість рибосом у різноманітних клітин різна. Наприклад, у бактеріальній клітині вона дорівнює 104-105.

У еукаріотній клітині рибосоми пов'язані із зовнішньою поверхнею мембран гранулярної ендоплазматичної мережі. Вони синтезують білки, які потім через комплекс Гольджі покидають клітину. Існують дрібні рибосоми, які знаходяться в мітохондріях і хлоропластах, які постачають білки тільки для своїх потреб.

Загальний принцип будови про- і еукаріот дозволяє виявити схожість усіх клітинних форм життя, дати їм оцінку в еволюції органічного світу.

Єдине, у чому еукаріоти поступаються прокариотам, так це – у швидкості клітинних поділів. У бактерій відбувається так званий простий поділ, тоді як у еукаріотів це досить складний процес, викликаний наявністю значної кількості хромосом. Тому бактерія ділиться у середньому кожні 20 хвилин. За умови безперешкодного поділу, одна бактеріальна клітина у відповідних умовах спроможна протягом шести годин утворити 250 000 клітин, а протягом шести діб її потомство заповнило б Світовий океан. Стає зрозумілим, чому навіть незначна кількість патогенних бактерій через 2-3 дні після проникнення в організм спричинює смертельне захворювання. Проте, на щастя, бактерії не здатні постійно так швидко розмножуватися, оскільки збільшення їх кількості стримується дефіцитом їжі, відходами власного метаболізму, які отруюють бактерію, а також



захисними силами організму. Про- і еукаріотичні організми відрізняються за типом організації геному, будовою гену та регуляцією гена. У прокариот відсутні інтрони, є оперонна організація гена, ДНК не пов'язана з білком та ін. Однак, не дивлячись на значні структурні та функціональні відмінності, вони мають спільні риси будови, що дозволяють віднести їх до єдиної філогенетично пов'язаної клітинної форми життя: по-перше, мембранний принцип будови; вони мають зовнішні і внутрішні плазматичні мембрани, що забезпечують компартменталізацію протоплазми; по-друге, в загальних рисах подібний потік енергії через цикл трикарбонових кислот (цикл Кребса), а у фотосинтетиків – процес фотосинтезу; по-третє, єдиний принцип потоку інформації від нуклеїнових кислот до білка: ДНК – РНК – білок.

### **3. Пошкодження ДНК і мутації – основа мінливості**

В умовах антропогенного навантаження ДНК в клітині не дуже стабільна і зазнає значних змін (мутагенезу) і руйнацій. В ній постійно виникають багаточисленні, різні і навіть смертельні пошкодження. Тому в таких умовах здатні вижити тільки ті організми, які забезпечені системами захисту та відновлення від пошкоджень (репарації).

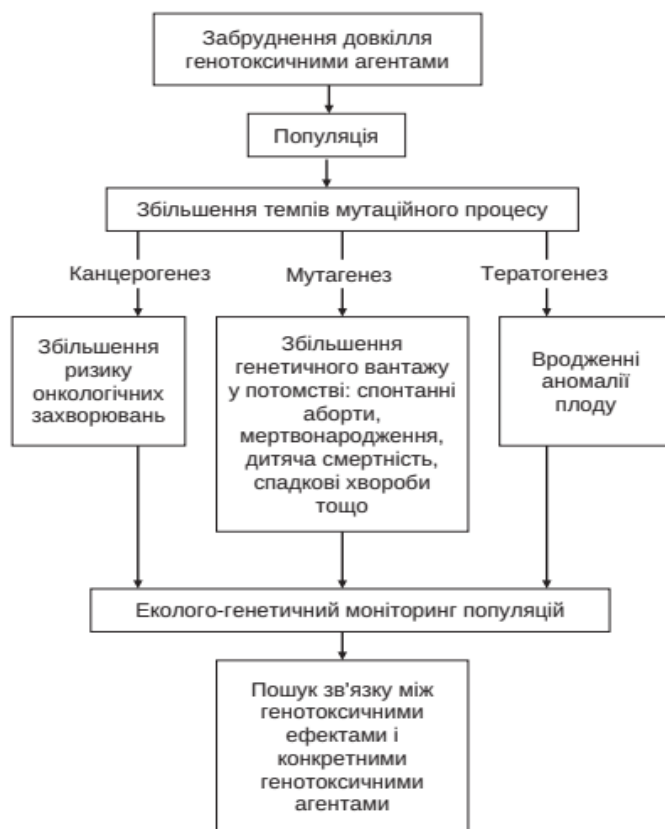
#### **Типи мутацій та їх вплив на генофонд популяцій**

Величезну роль в еволюції життя на Землі відіграв мутаційний процес як могутнє джерело нової генетичної інформації.

**Мутагенез** (мутаційний процес) – це утворення мутацій, що полягає у стрибкоподібних успадкованих змінах генетичного матеріалу (кількості або структури ДНК). Зростання темпів мутаційного процесу, що відбувається внаслідок забруднення навколишнього середовища генотоксичними агентами, які пошкоджують генетичний матеріал, створює найбільшу загрозу генетичній безпеці всьому живому. Оцінку рівня генетичної безпеки населення показано на рисунку 4.

**Мутації** – зміни спадкових властивостей внаслідок кількісних та якісних змін у генотипі організму.

В процесі реплікації ДНК мутації передаються від клітини до клітини і від покоління до покоління. Вони виникають у результаті спадковості, що передається від мутованої клітини до клітин, що утворилися в результаті її ділення (мітозу або мейозу).



*Рис.4. Оцінка рівня генетичної безпеки населення*

**Генотип** – це сума усіх генів організму або спадкова конституція. Гени визначають структуру і кількість білків в клітині, а білки (гормони, ферменти тощо) беруть участь у регуляції метаболізму. Вплив навколишнього середовища модулює ці процеси.

Результатом взаємодії навколишнього середовища з генотипом є сукупність морфологічних і функціональних характеристик клітин індивідуумів, що іменуються фенотипом. Мутантний фенотип реалізується в дочірній клітині.

Наукове вивчення мутацій стало можливим в ХХ ст., в зв'язку з відкриттям основних механізмів передачі спадкової інформації, дослідженням структури і функції гену.

За біологічними наслідками розрізняють такі типи мутацій:

- **соматичні мутації** – відбуваються в процесі ділення соматичних клітин (клітинах тіла) і виявляються в осіб, які безпосередньо зазнають генотоксичного впливу, збільшують ризик онкологічних захворювань, активізуючи онкогени (канцерогенез), знижують рівень імунного захисту, зменшують тривалість життя;

- **гаметичні мутації** – виникають у процесі утворення статевих клітин, виявляються у потомстві і створюють загрозу для здоров'я майбутніх поколінь, збільшуючи генетичний вантаж популяції.

За характером змін у структурі генетичного апарату організму розрізняють три типи мутацій – **генні, хромосомні та геномні**.

1. **Генні (точкові) мутації** – представляють собою зміну структури відповідних генів. При цьому може відбуватися заміна окремої ланки (нуклеотидів) в молекулі ДНК, що є структурною основою генів.

Генні мутації поділяють на такі типи:

*а) заміни нуклеотидів* – найбільш поширені генні мутації, до яких належать такі субтипи, як:

*транзиції* – заміна однієї пуринової основи на пуринову (аденін, гуанін) або піримідинової на піримідинову (цитозин, тимін);

*трансверзії* – заміна одного типу азотистих основ на інший, тобто пурину на піримідин або навпаки;

*б) випадіння (делеції)* в ланцюгу ДНК однієї або декількох азотистих основ (і відповідних нуклеотидів);

*в) вставки (вбудовування)* в ланцюг ДНК додаткових азотистих основ (однієї або більшої кількості).

2. **Хромосомні мутації** (хромосомні аберації, перебудова хромосом) – це різні структурні перебудови хромосом – спеціалізованих структур клітинного ядра, які несуть молекули ДНК.

Хромосоми можуть повністю або частково подвоюватися, втрачати окремі ділянки, частина хромосом може перевернутися на 180 градусів або переміститися в інше місце в межах самої хромосоми.

Важливе місце в організації геному різних клітин посідають генні перебудови (реаранжування – *rearrangements*, англ.), або генетичні рекомбінації (рекомбінації генів), під якими розуміють обмін фрагментами ДНК між різними генами або об'єднання генів з різних біологічних джерел з утворенням нових хромосомних структур, здатних до реплікації і генетичної експресії (транскрипції та трансляції).

Генетичні рекомбінації мають місце в біологічних системах різного ступеня складності – від вірусів і бактеріофагів до вищих еукаріотичних організмів.

Перебудови структури генів є рушійною силою мінливості і мають велике значення як у формуванні біохімічної індивідуальності на рівні окремих особин в межах біологічного виду, так і в утворенні видів у

процесі еволюції. Молекулярні механізми генетичних рекомбінацій складні й істотно відрізняються у різних організмів та при різних типах рекомбінацій.

**3. Геномні мутації** – зміни кількості хромосом у клітині, поява зайвої або втрата хромосоми в результаті порушень під час мейозу. Кратне збільшення кількості хромосом називається поліплоїдією (3n, 4n і т. д.). Цей вид мутації часто наявний у рослин. Багато культурних рослин поліплоїдні щодо диких предків. Збільшення хромосом на одну-дві у тварин призводить до аномалій розвитку або загибелі організму. Наприклад: синдром Дауна в людини – трисомія по 21-й парі, усього в клітині 47 хромосом.

**Значення мутаційної мінливості:**

- для організму може бути:
  - а) *адаптивною*, забезпечує пристосування до умов середовища;
  - б) *нейтральною*, не впливає на пристосованість, але за певних змін середовища існування може виявитися корисною для організмів;
  - в) *шкідливою* (більшість мутацій), оскільки знижують пристосованість до умов середовища;
- для еволюції є елементарним чинником еволюції, основним джерелом спадкової мінливості, підвищує генетичне різноманіття всередині популяції чи виду завдяки виникненню нових генів чи алелей.

**Індуковані мутації.** Виникають при дії на вірус різних хімічних і фізичних мутагенів, а також при адаптації його до незвичайних біологічних систем при адаптаційній мінливості. Наприклад, радіоактивне випромінювання викликає утворення як одно- так і дволанцюгових розривів полінуклеотидних ланцюгів ДНК, а також модифікацію азотних основ – утворення тимінових димерів (утворення ковалентних зв'язків між сусідніми, розташованими в одному ланцюгу, залишками тиміну).

Такі тимінові димери протидіють нормальному просуванню ДНК-полімераза під час реплікації, і синтез ДНК припиняється.

Другий приклад пошкодження ДНК. Вірусний геном може вбудовуватися в частину ДНК якого-небудь гену. Багато генотоксичних ксенобіотиків здатні приєднуватися до азотних основ, утворюючи аддукти. Механізм ушкоджуючої дії хімічних мутагенів, як і в разі дії фізичних чинників, значною мірою залежить від утворення в клітині вільних радикалів кисню та води, що спричиняють зміни в ковалентній структурі азотистих основ ДНК.

#### 4. Положення вірусів у системі живого

Віруси займають суміжне положення між живою та неживою матерією. До основних рис, що відрізняють їх від живих організмів, належать: відсутність клітинної будови; відсутність власної білок-синтезуючої системи; геном вірусів може бути представлений не тільки ДНК, але й РНК; деякі віруси можуть формувати всередині клітини кристали. Першовідкриття вірусів належить Д.І Івановському (1864-1920). У 1892 році він своїми оригінальними дослідженнями виділив патоген з тютюну, який індукував своєрідну мозаїку на листі тютюну.

**Віруси** – позаклітинні форми життя, які являють собою автономні генетичні системи, нездатні до самостійного існування поза організмом або клітиною хазяїна, тобто є облігантними внутрішньоклітинними паразитами. Навпаки, як і всі живі об'єкти, віруси здатні: до розмноження; успадковування ознак; генетичної і фенотипічної мінливості; адаптації до умов навколишнього середовища.

Зрілі вірусні частинки (віріони) складаються з нуклеїнової кислоти, поміщеної в білкову або ліпопротеїнову (білок у комплексі з ліпідами) оболонку. До складу вірусів входить один з двох видів нуклеїнових кислот – ДНК або РНК; ця ознака лежить в основі їх класифікації на ДНК-вмісні та РНК-вмісні. Також обидві групи поділяють на одноланцюгові дволанцюгові.

Білки кількісно переважають у вірусній частинці. Низькомолекулярні білки зв'язуються з нуклеїновою кислотою, утворюючи чохол – капсид. Багато вірусів мають ще одну оболонку, розташовану зовні капсиду, – пеплос. Пеплос складається з високомолекулярних білків, організованих у вирости – пепломери, які слугують для розпізнавання клітин-мішеней. Крім білків, до складу пеплосу входять ліпіди та вуглеводи.

Білки капсиду та пеплосу виконують такі функції: стабілізують і захищають нуклеїнову кислоту; є ферментами, що беруть участь у відтворенні вірусної частинки; розпізнають відповідну клітину-мішень.

#### Репродукція вірусів

Існує певний порядок транскрипції вірусних РНК, які потім транслуються з утворенням білка. Реплікація вірусного геному більшості РНК-вмісних вірусів відбувається в цитоплазмі, а більшості ДНК-вмісних вірусів – у ядрі. Життєві цикли вірусів можуть відрізнятися в різних видів, але відбуваються за загальною схемою.

Репродукція вірусів об'єднує декілька етапів:

- 1) розпізнавання клітини-мішені й прикріплення до неї;
- 2) проникнення в клітину;
- 3) збирання вірусних частинок;
- 4) вихід з клітини.

**Проникнення вірусу в клітину.** Проникнення вірусу в клітину-хазяїна починається із взаємодії вірусної частинки з поверхнею клітини, на якій є особливі рецепторні ділянки. Оболонка вірусу має відповідні прикріпні білки, що «впізнають» ці ділянки. Саме цим забезпечується висока специфічність вірусів щодо клітин-хазяїв: часто віруси вражають лише певний тип клітин певного виду організмів. Якщо вірус прикріплюється не до рецепторних ділянок, а до інших місць поверхні клітини, то її зараження може і не відбутися. Отже, наявність рецепторних ділянок поверхні клітини визначає її чутливість до того або того виду вірусів. Прикріпні білки вірусних частинок у простих вірусів містяться в білковій оболонці, а у складних розташовані на поверхні додаткової мембрани у вигляді шипів, голок тощо.

У середину клітини-хазяїна вірус може проникнути різними шляхами. В одних випадках вірусні оболонки зливаються з клітинною мембраною (як у вірусу грипу), в інших – вірусна частинка потрапляє в клітину шляхом піноцитозу, після чого ферменти клітини-хазяїна розщеплюють її оболонку, звільняючи нуклеїнову кислоту (вірус поліомієліту тварин). У рослинні клітини віруси можуть проникати через пошкоджені ділянки клітинної стінки.

**Збирання вірусних частинок.** Після проникнення вірусу в клітину-хазяїна його нуклеїнова кислота передає спадкову інформацію про вірусні білки в білоксинтезуючий апарат клітини.

У деяких вірусів вірусна частинка містить і-РНК, яка відразу сполучається з рибосомами хазяїна і спричинює синтез вірусних білків, у інших іРНК синтезується на РНК чи ДНК вірусу. Деякі РНК-вмісні віруси, наприклад ВІЛу (вірус імунодефіциту людини, який призводить до смертельно небезпечної хвороби – СНІДу), у ядрі клітини здатні викликати синтез ДНК (явище зворотної реплікації), а остання, в свою чергу, синтезує вірусну іРНК. Життєвий цикл вірусу ВІЧ складається з наступних стадій:

- вірус прикріплюється до рецепторів на поверхні клітини;
- вірус проникає в середину клітини і «роздягається»– знімає з РНК білкову оболонку;

- на вірусній РНК за допомогою ферменту зворотної транскриптази (ревертази) синтезується копія ДНК. Ревертаза входить в склад вірусної частинки. Спочатку синтезується один ланцюг ДНК, потім РНК в цьому комплексі розпадається під дією РНКаз, і синтезується другий ланцюг ДНК;

- ДНК-копія вірусного геному проникає в ядро клітини-хазяїна і вбудовується в геном клітини. Після цього вірус може там існувати декілька років, не проявляючи себе. Ця фаза називається латентною фазою;

- на встроєний в геном хазяїна вірусної ДНК відбуваються транскрипція – синтезуються вірусні білки. Вони запускають процеси, необхідні для обробки РНК та перетворення її в форму, яка входить в склад вірусних частинок. Потім відбувається набір інфекційних частинок;

- нові вірусні частинки виходять з клітин.

Особливим випадком є вбудова вірусної ДНК у ДНК клітини-хазяїна. При цьому не відбувається незалежного синтезу вірусних білків, а лише в комплексі з білками клітини. До таких вірусів належать деякі бактеріофаги та віруси, що призводять до певних ракових захворювань. Їхні білки не вбивають клітину, однак змінюють її властивості (наприклад, ракові клітини набувають здатності необмеженого росту та частих поділів тощо).

Далі віруси за допомогою продуктів власної життєдіяльності пригнічують синтез білків клітини-хазяїна, тобто трансляцію інформації з ДНК на іРНК клітини, і стимулюють синтез власних білків, використовуючи білоксинтезуючий апарат клітини- хазяїна та її енергетичні ресурси. Водночас молекули нуклеїнової кислоти вірусу подвоюються.

**Утворення віріонів і вихід з клітини.** Як тільки вірусні нуклеїнові кислоти і вірусні білки синтезовані в достатній кількості, починається збирання вірусів. Включення нуклеїнових кислот у вірусні капсиди у РНК-вмісних вірусів відбувається у цитоплазмі, а у ДНК-вмісних вірусів – у ядрі. Лізосоми клітини-хазяїна продукують ферменти гідролази, які розривають мембрану клітини-хазяїна, і віріони потрапляють у міжклітинне середовище або кров і заражають нові клітини.

Заражаючись вірусом, клітина активує спеціальні механізми противірусного захисту, відбувається перепрограмування клітини. Вона починає синтезувати сигнальні молекули – інтерферони, що

активують системи імунітету. Пошкодження, спричинені розмноженням вірусу в клітині, виявляються системами внутрішнього клітинного контролю, і така клітина сама себе вбиває під час апоптозу, або програмованої клітинної смерті.

Деякі віруси можуть переходити в латентний (прихований) стан і активуватися лише за певних умов. При цьому вірус успадковується дочірніми клітинами і нерідко включається у клітинний геном. Якщо клітини потрапляють у несприятливе середовище, то вірус стає активним і починає розмножуватися. Вірус, що активно розмножується, не завжди вбиває клітину-хазяїна. Багато вірусів виходять із клітини шляхом відбрунькування від клітинної мембрани, набуваючи при цьому зовнішньої оболонки. У цьому випадку клітина може продовжувати жити і продукувати вірус.

Життєві цикли вірусів можуть відрізнятися в різних видів, але відбуваються за загальною схемою. Можна виділити три стадії вірусної інфекції: адсорбція вірусу на клітинній мембрані і проникнення вірусу в клітину; експресія і реплікація вірусного геному; збирання вірусів та їх вихід із клітини.

Механізми проникнення вірусів у клітини людини, тварин, рослин, бактерій відрізняються своїми особливостями.

**Бактеріофаги** – це віруси, що мають здатність проникати в бактеріальні клітини, репродуктуватися в них і викликати їх лізис. Фаги широко поширені в природі – у воді, ґрунті, стічних водах, у кишечнику тварин, людини, птахів, у ракових пухлинах рослин.

Джерелом фагів патогенних мікробів є хворі люди і тварини, бактеріоносії. Виділяються з вмістом кишечника, сечею, вірус виявляли в мокроті, слині, гної, носовому секреті. Особливо велика кількість фагів виділяється в період одужання.

Більшість фагів складається з головки, комірця і хвостового відростка, що закінчується базальною платівкою, до якої прикріплені фібрили.

Вміст головки – це ДНК (іноді РНК). Хвостовий відросток має циліндричний стрижень, оточений скорочувальним чохлам. В оболонку фагової частинки і відросток входить білок, що з поліамінів: спермін, путресцин, кислоторозчинний пептид. Фаги більш стійкі в зовнішньому середовищі, ніж бактерії. Витримують тиск до 6000 атм., стійкі до дії радіації. До 13 років не втрачають своїх літичних властивостей, перебуваючи в запаяних ампулах. Однак фаги швидко гинуть при кип'ятінні, дії кислот, УФ-променів.



Патогени вірусної природи завдають великої шкоди різним видам тварин, що вирощуються в агропромислових комплексах України. Велика кількість свиней у різних регіонах держави вражені парвовірусом, що викликає муміфікацію плоду, викиди, мертвонародженість. Проведений моніторинг вірусних інфекцій рослин і тварин АПК України дав змогу скласти карти патогенів та безвірусних зон, які дозволять легко орієнтуватися, де, наприклад, можна впроваджувати біотехнологію, а де – ні, тому що є зони з великим накопиченням вірусів у ґрунтах та в залишках рослин. При паратифі телят використовують гертнер-фаг, при захворюванні поросят – суйпестифер-фаг, при колібактеріозі – колі-фаг та інші.

Але дуже часто фаги ведуть себе недостатньо активно. Така нехарактерна поведінка вірусів-бактерій може бути пов'язана, наприклад, з різкими змінами екологічних факторів.

## **5. Особливості еволюції вірусів на сучасному етапі**

Еволюція вірусів в еру науково-технічного прогресу в результаті потужного тиску різних чинників відбувається значно швидше, ніж раніше. Забруднення зовнішнього середовища промисловими відходами, повсюдне застосування пестицидів, антибіотиків, вакцин й інших біопрепаратів, велика концентрація населення в містах, розвиток сучасних транспортних засобів, господарське освоєння раніше невикористаних територій, створення індустріального тваринництва з найбільшими за кількістю й щільністю популяціями тваринних господарств – усе це призводить до виникнення невідомих раніше збудників інфекційних хвороб, зміни властивостей і шляхів циркуляції відомих раніше вірусів, а також до значних змін сприйнятливості й опірності людських популяцій.

Наприклад, Чорнобильська катастрофа «породила» нові варіанти вірусів, які українські вчені [А.Л. Бойко, 2006 р.] зареєстрували в міжнародному центрі у Великобританії. Для науки такий матеріал – безцінний. З погляду вірусологів, Чорнобильська зона – це велика лабораторія під відкритим небом. Виникли нові мікроорганізми, які можуть бути продуцентами антибіотиків, біологічно активних речовин, а також невідомих раніше типів вірусів. Українськими вченими-ботаніками виявлено декілька варіантів вірусу тютюнової мозаїки.

Сьогодні цей вірус пошкоджує біля 400 видів рослин, а також викликає зміни у клітинах ссавців. Висока мінливість штамів в умовах

радіації призводить до інфікування більш ширшого кола рослин. Так, віруси Рабдогрупи, серед яких є збудники таких хвороб, як сказ у тварин, краснуха коропа, вазиккулярний стоматит у ссавців, зустрічаються у 60 видів рослин (пшениця, цукровий буряк, хміль, малина, чорна смородина тощо). Вірус краснухи коропа дуже схожий на вірус жовтої карликовості картоплі та вірус сказу. Віруси, які знаходять на соняшнику, за своєю фізико-хімічною структурою подібні Бунья-вірусам, що вражають негрів Африки. Єдине, що поки рятує – це різна структура геному рослинних вірусів. Але немає ніякої гарантії, що під дією різних факторів (наприклад, стресів) віруси, що інфікують рослини, не перейдуть до тварин або людини. Антропогенні фактори і техногенні катастрофи породжують нові варіанти вірусів, і ми повинні бути до цього готові.

У природі хвороботворні організми відіграють важливу роль обмежувачів надмірного розвитку популяцій. Людина до останніх двох століть не була винятком. Наприклад, Юстиніанська епідемія чуми в VI ст. охопила Північну Африку, Сірію, Європу, Малу Азію і забрала життя близько 100 млн. осіб (третину тогочасного населення планети). Через деякий час епідемії періодично повторювалися. Густота популяції населення зменшувалась, епідемія вщухала і відновлювалася відносна рівновага. Завдяки розвитку в XVII–XIX ст. гігієни і медицини ймовірність епідемій знизилася, а густота людських популяцій зросла. Антропогенні зміни навколишнього середовища, які відбуваються при урбанізації, науково-технічній революції та ін. викликають у біологічних факторів появу нових властивостей, які здатні викликати в цих умовах патологію і нові види захворювань. Наприклад, деякі сапрофіти – легіонели, лактобактерії при відповідних умовах (імунодефіцит, порушення бар'єрних, захистних механізмів) можуть викликати інфекцію. З'явилися модифіковані форми гепатиту С, пташинного та свинячого грипу тощо.

Розрізняють віруси грипу типів А, В і С. Типовим представником ортоміксовірусів є вірус грипу типу А, який був виділений у 1933 р. Е. Смітом, К. Ендрюсом і Лейдлоу. Вірус грипу типу А, що вражає людину, має три різновиди, які позначаються H1N1, H2N2 і H3N2. Перший і третій різновиди сьогодні дуже поширені, а другий – був розповсюджений з 1957 по 1968 рік.

Віруси грипу належать до РНК-вмісних вірусів (рис.5).

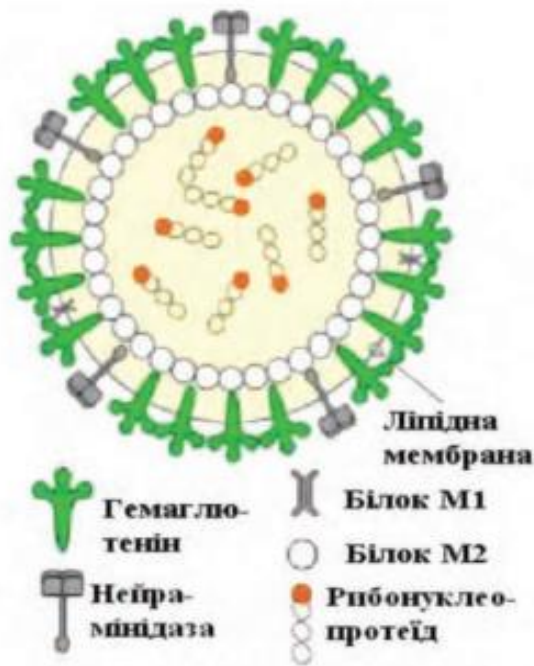


Рис.5. Схема структури вірусу грипу

Нуклеокапсид – спіральний тяж рибонуклеопротеїду, що вміщує 8 ланцюгів РНК, вкритий ліпідно-протейновою оболонкою, до складу якої входять два види білків – гемаглютинин і нейрамінідаза.

**Як розшифровується H1N1?** Буква **Н** позначає гемаглютинин, буква **Н** – нейрамінідазу. Цифра 1 характеризує підтип вірусу. Вірус інфлюєнції H1N1 не винятковий. Можливі підтипи гемаглютининів (H) і нейрамінідаз (N) у різних видів грипу показані в таблиці 1.

Таблиця 1

Можливі підтипи гемаглютининів (H) і нейрамінідаз (N) у різних видів грипу

Підтип	Людина	Свиня	Водоплавні птахи	Підтип	Людина	Свиня	Водоплавні птахи
ПІДТИП H				Підтип N			
H1	Так	Так	Так	N1	Так		Так
H2	Так	-	Так	N2	Так		Так
H3	Так	Так	Так	N3	-		Так
H4	-	-	Так	N4	-		Так
H5	Так	-	Так	N5	-	Так	Так
H6	-	-	Так	N6	-		Так
H7	Так	-	Так	N7	Так		Так
H8	-	-	Так	N8	-		Так
H9	Так	-	Так	N9	-	Так	Так
H10	-	-	Так				
H11	-	-	Так				
H12	-	-	Так				
H13	-	-	Так				
H14	-	-	Так				
H15	-	-	Так				

Саме мутовані віруси є причиною виникнення пандемій. Перша пандемія грипу виникла у Китаї в 1889 р., друга – у 1918 р., третя почалася в 1947 р. і тривала майже три роки. Наприкінці 1957 р.

Пандемія грипу охопила всі країни світу. Ця інфекція вразила майже 2 мільярди чоловік. Вона дістала назву азіатської. Через 11 років, у 1968 р., пандемію грипу викликав гонконгівський вірус А типу H3N2. Це був новий сероваріант, у якому містився гемаглютинін (H) третього серологічного типу, а нейрамінідаза (N) – другого серологічного типу. Відбувся так званий *shift*, тобто поява нового вірусу, до якого організм людини виявився неімунним.

Іспанський грип, або «іспанка» (H1N1) (фр. LaGrippe Espagnole, або ісп. LaPesadilla), був найстрашнішою пандемією грипу за всю історію людства.

У 1918-1919 роках (18 місяців) у всьому світі від іспанки померло близько 50-100 млн чоловік (разом із загиблими на війні), або 2.6-5.2% населення Землі. Були заражені близько 400 млн людей, або понад 20% населення планети. Різновид грипу H1N1 дещо схожий на сучасний пташиний грип. Свою назву грип одержав через те, що Іспанія першою оголосила про спалах цієї хвороби. У травні 1918 року в Іспанії було заражено 8 млн мешканців, або 38% її населення. Вірус іспанки виявився слабкішим від сучасного H3N2, який мутував і був зафіксований у наш час. Смертність від вірусу H3N2 набагато вища.

Вчені встановили, що вірус потрапляє глибоко в легеневу тканину людини, викликає пневмонію, яка спричиняє смерть молодої здорової людини.

Попередження захворювання грипом є вакцинація. Але наявні вакцини проти штамів вірусів грипу, навіть того самого типу H1N1, неефективні проти вірусу H1N1 California. Створити вакцини та ліки проти вірусів грипу дуже складно, тому о геном вірусу дуже мінливий (геномна РНК значно мінливіша за геномну ДНК, коли порівнювати РНК-ові та ДНК-ові віруси).

Грип давно перестав бути тільки людською хворобою.

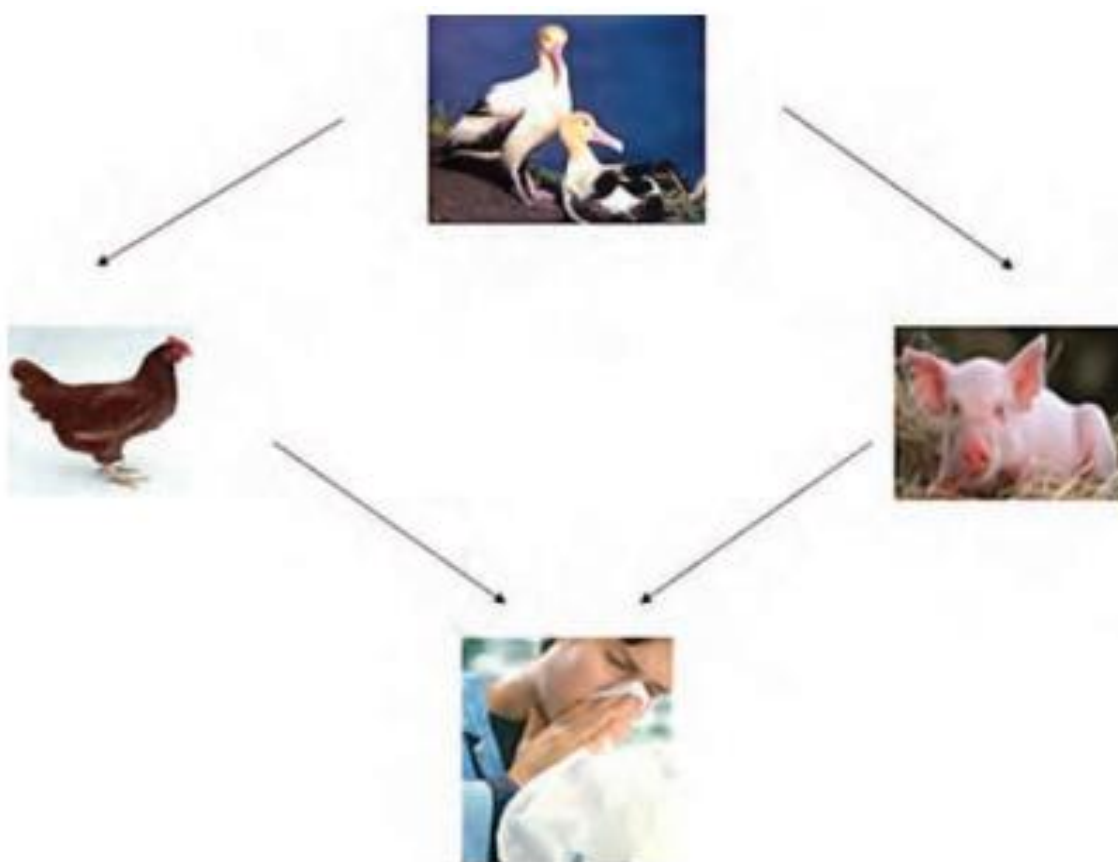
У 1942 році було зроблено припущення про можливість формування латентної грипозної інфекції у міжепідемічний період. Латентна форма інфекції необхідна для збереження в природі вірусу як біологічного виду. Наприклад, дикі мігруючі птахи є природним резервуаром для високопатогенних вірусів грипу, самі при цьому не хворіють, а передають їх своїй птиці. Від цієї хвороби страждають

свині, корови, коні, собаки, кури, качки. У 80-х роках ХХ ст. вірус грипу був виділений із організму кита.

**Пташиний грип.** За останні роки пташиний грип став чи не найголовнішою темою для дискусії лікарів епідеміологів та інфекціоністів, адже двократний перетин ним видового бар'єру, спричинив неможливе, як вважалося раніше, інфікування людей.

**Пташиний грип** – це інфекційне захворювання птиці, яке викликане вірусами грипу А, підтип Н5N1. Відомо, що дикі мігруючі птахи є природним резервуаром для високопатогенних вірусів і можуть передавати їх свійській птиці через безпосередній контакт. Пташиний грип належить до великої групи різноманітних вірусів грипу, які спочатку вражають птахів. Іноді ці віруси грипу можуть заразити інші біологічні види, зокрема свиней і людей.

Інфіковані птахи поширюють вірус через свою слину, носові секретії і фекалії. Свійські птахи можуть бути інфіковані вірусом пташиного грипу через безпосередні контакти з інфікованими водоплавними птахами чи іншими інфікованими птахами, або через контакт із поверхнею землі, глини чи клітки (рис. 6).



*Рис.6. Основні шляхи передачі пташиного грипу*

Інфекція серед свійської птиці може бути безсимптомною або викликати зменшення яйценесення та захворювання системи дихання, а також протікати у миттєвій формі, викликаючи швидку загибель птиці від системного ураження без будь-яких попередніх симптомів.

У більшості випадків люди заражувалися пташиним грипом внаслідок безпосереднього контакту з інфікованими свійськими птахами або з поверхнею, зараженою секретіями чи виділеннями інфікованих птахів. Поширення вірусів пташиного грипу від однієї хворої людини до іншої буває дуже рідко; подальше поширення інфекції від хворого не спостерігалось.

Симптоми пташиного грипу у людей можуть варіювати від симптомів, типових для звичайного грипу (температура, кашель, біль у горлі і біль у м'язах) до інфекцій очей, пневмонії, важких респіраторних захворювань (гострий респіраторний синдром) та інших загрозливих для життя ускладнень.

В зв'язку з глобальним потеплінням змінилися звичайні маршрути міграції перелітних птахів. У диких птахів за довгий час еволюції до вірусу грипу виробився надійний імунітет. Домашні птахи, які лишилися впливу природного відбору і вимушені жити в умовах штучного середовища, втратили цей імунітет і стали дуже чутливими до цієї інфекції. Під дією антропогенного навантаження вірус теж еволюціонує, виникають нові високопатогенні штами.

Існує два основні ризики для здоров'я людини при захворюванні на пташиний грип:

- 1) коли вірус переходить від інфікованого птаха до людини, внаслідок чого іноді людина може тяжко захворіти;
- 2) ризик того, що вірус перейде в модифіковану форму, дуже заразну для людей, яка буде легко передаватися від людини до людини.

**Свинячий грип** є небезпечніший ніж звичайний. Зазвичай віруси грипу, що вражають тварин, не вражають людей. Проте якщо таке відбувається, то виникає небезпечна ситуація – люди дуже сприйнятливі до таких «тваринних» вірусів, оскільки жодного разу ще не стикалися з ними і не виробили ніякого захисту.

Більш того, віруси, циркулюючи у тваринному організмі (у епідеміології місце, де циркулює вірус, називається резервуар інфекції), постійно мутують, а людину в популярність не ставлять. В результаті при попаданні в організм людини такий вірус наносить значно більшої шкоди, ніж звичайний.

Збудником свинячого грипу є вірус інфлюєнції. Подібні віруси, що вражають свиней, птахів і людей, відрізняються один від одного тільки незначними змінами в будові ланцюжка білків в оболонці віруса. Тому не дивно, що віруси, знайдені у свиней, здатні також вражати і людей.

Наскільки ці віруси небезпечні, залежить, не від того, від яких тварин вони походять, а яку структуру вони мають. Факт в тому, що усі, донині тестовані віруси інфлюєнції, незалежно від їх структури, частково або повністю можна стримувати за допомогою спеціальних мікроречовин.

В 1931 році американець Шоп відкрив вірус грипу свиней. Збудник свинячого грипу – РНК-вмісний, гемаглютинуючий вірус розміром 70...120 нм із родини Orthomyxovirus типу А, сімейства Orthomyxoviridae.

Характерною особливістю цієї хвороби є одномоментність спалаху на фермах, інколи дуже далеко розміщених однієї від іншої. Це висококонтagioзна хвороба, що протікає гостро, переважно молодих тварин, яка характеризується лихоманкою, катаральним запаленням слизових оболонок дихальних шляхів, кон'юнктивами і поразкою легень. Джерело збудника інфекції – хворі свині і вірусоносії. Шоп установив, що носіями вірусу свинячого грипу є личинки третьої стадії розвитку яєць легеневого хробака.

Вважається, що вірус грипу може передаватися і поширюватися яйцями паразитуючих у легенях свиней стронгілід, цикл розвитку яких здійснюється за участю проміжного господаря – дощового хробака, в організмі якого легеневий хробак проходить цикл розвитку, що складається з трьох стадій.

У організмі останнього збудник зберігається до 19 місяців, свині заражаються при поїданні дощових хробаків. Із кишечника свиней личинки проникають у дихальні шляхи, де і перетворюються в дорослого легеневого хробака. Тому, будучи зовнішньо здоровими, свині являються носіями легневих хробаків-вірусоносіїв. З приходом осені та перших холодів на багатьох свинофермах і відбувається спалах захворювання свиней грипом. Носіями вірусу можуть бути гризуни та кажани.

В окремих господарствах грип свиней надає серйозних збитків, у результаті захворювання кількість нормальних опоросів може скорочуватися майже вдвічі.

Віруси, циркулюючи у тваринному організмі (в епідеміологічній місцевості, де циркулює вірус, називається резервуар інфекції), постійно

мутують. Влітку 2012 року в Америці в штаті Огайя виявили новий модифікований штам свинячого грипу H3N1 від якого загинуло 200 людей.

Таким чином, поступово накопичені факти примушують признати, що різні віруси, в тому числі і віруси грипу, можуть тривалий час приховано розмножуватися в організмі людей, різних тварин, птахів, комах, рослин і навіть бактерій.

**Профілактика мутацій.** Методи і способи запобігання негативним генетичним наслідкам забруднення довкілля полягають передусім у профілактиці виникнення мутацій. Такими методами можуть бути:

- перевірка на мутагенність, канцерогенність, тератогенність нових синтезованих сполук, які надходять у навколишнє середовище: розроблення досконаліших тест-систем; створення реєстрів мутагенів;

- вилучення з довкілля відомих мутагенних сполук, за потреби заміна їх нешкідливими аналогами;

- перегляд і зниження існуючих ГДК хімічних речовин, що використовуються у промисловості, сільському господарстві, медицині та побуті і забруднюючих довкілля;

- зниження рівня радіонуклідів в ґрунті, воді та продуктах харчування;

- підвищення імунітету людини за допомогою антимутагенів (вітамін С і Е, інтерферони, екстракти деяких рослин тощо);

- створення вакцин проти сучасних модифікованих вірусних інфекцій.

Таким чином, до біологічних факторів відносять сукупність впливу одних організмів на інші. Вплив може бути гомотипічним (між представниками одного виду) і гетеротипічним (між представниками різних видів).

Вплив одного виду на інший може бути нульовим, благодійним та не благодійним і включає:

- нейтралізм (види незалежні і не впливають один на одного);
- конкуренцію (кожний з видів здійснює на інший негативну дію);
- мутуалізм (кожний з видів може рости, розмножуватися, жити тільки в присутності іншого виду);
- співробітництво (два види утворюють угруповання);
- коменсалізм (один вид отримує користь від співіснування);



- паразитизм (паразитичний вид гальмує ріст і розвиток свого хазяїна);

- хижацтво (хижий вид використовує в якості їжі жертву).

Вплив біологічних факторів на біосферу може обумовлюватися як самими живими організмами (вірусами, мікроорганізмами, простішими, комахами, рослинами), так і продуктами їх життєдіяльності (пилком, спорами, шерстю, не властивими для людини сполуками, які наділені алергенними властивостями).

## ТЕМА 3. СУЧАСНА БІОТЕХНОЛОГІЯ ТА ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ

1. Роль біотехнології в оздоровленні біосфери.
2. Використання сучасної біотехнології в сільському господарстві та інших галузях господарювання.
3. Інтродукція нових видів організмів та її вплив на довкілля.

### 1. Роль біотехнології в оздоровленні біосфери

**Біотехнологія** (Biotechnología, від грец. Bios – життя, techne – мистецтво, майстерність і logos – слово, навчання) – використання живих організмів і біологічних процесів у виробництві.

За визначенням Європейської біотехнологічної федерації, **біотехнологія** – це скерований людиною комплекс способів отримання корисних для суспільства цільових продуктів за допомогою біологічних агентів – мікроорганізмів, вірусів, клітин тварин та рослин, а також за допомогою позаклітинних речовин і компонентів клітин.

Нова біотехнологія почала розвиватися після відкриття Дж. Уотсоном і Ф. Кріком будови генетичного матеріалу – ДНК. Технологія рекомбінантних ДНК і гібридом стала базою для створення зовсім іншої біотехнологічної промисловості.

Сучасна біотехнологія включає застосування таких методів:

- *in vitro* з використанням нуклеїнових кислот, включаючи рекомбінантну дезоксирибонуклеїнову кислоту (ДНК) та пряму ін'єкцію нуклеїнових кислот у клітини або органели;
- злиття клітин організмів з різним таксономічним статусом, що дозволять подолати природні фізіологічні репродуктивні або рекомбінаційні бар'єри і які не є методами, традиційними для виведення та селекції.

Існують два основні напрямки сучасної біотехнології – **генетична інженерія і клітинна інженерія**. Саме вони забезпечують отримання широкого спектру біологічно активних речовин (інтерферону, інсуліну, гормону росту людини, вітамінів, вакцин тощо).

Господарське застосування біотехнології сьогодні розвивається переважно в трьох галузях:

- охороні здоров'я;
- сільському господарстві;
- промисловості.

Технічний прогрес у промисловості, на транспорті, інтенсифікація сільського господарства призвели до утворення диспропорцій у навколишньому середовищі, до деформації рівноваги екосистем та погіршення екологічної ситуації в усіх сферах людської діяльності.

Промислові підприємства забруднюють атмосферу газоподібними і твердими викидами, водойми – стічними водами, до складу яких часто входять токсичні речовини, від яких страждає фауна і флора.

Швидкий приріст населення Землі потребує збільшення ресурсів продовольчих товарів. У 1986 році населення земного шару становило 5 млрд чоловік, у 2000 – 7 мільярдів, а у 2020 році може досягти 8,5 млрд чоловік. Бажання збільшувати ресурси харчування призвело до швидкого погіршення екологічної ситуації в сільськогосподарському виробництві. Більшість фермерських господарств використовують мінеральні добрива. Збільшення кількості мінеральних добрив в 11,5 рази дало приріст врожаю зернових усього на 13,5%. З іншого боку, широке використання міндобрив викликає значну міграцію їх з водою, що погіршує екологічну ситуацію в регіонах.

Серйозну екологічну проблему становлять тверді і рідкі відходи, особливо у великих містах. Кількість звалищ з кожним роком збільшується, а санітарна зона навколо них – 500 м<sup>2</sup>, і це означає, що великі площі землі забруднюються і не потрапляють під використання в господарстві. Крім того, звалища є причиною вторинного забруднення водоймищ і ґрунтів токсичними речовинами хімічної і біологічної природи.

Побутові і промислові стічні води являють собою складну суміш, до складу якої входять різні поживні й різноманітні мікроорганізми. Тому для оброблення стоків необхідна велика кількість різних протистів. Хоча найпростіші в наш час не використовуються в промислових масштабах ні для виробництва клітинної маси, ні для синтезу продуктів їх життєдіяльності, вони, водночас з мікроорганізмами, відіграють важливу роль у біологічному очищенні стічних вод.

Мікроорганізми, що беруть участь в очищенні стічних вод, конкурують за використання поживних речовин, знешкоджують один одного і взаємодіють багатьма іншими шляхами, характерними для невеликої екологічної системи.

Наведемо приклади використання біотехнологій у практиці очищення стічних вод від органічних і мінеральних сполук. Сьогодні

тут поширене використання властивостей аеробних й анаеробних мікроорганізмів.

Аеробні системи очищення стоків. У стічних водах, що забруднені органічними речовинами, за наявності кисню інтенсивно розвивається аеробна мікрофлора, яка використовує органічні й неорганічні речовини для свого існування та розмноження.

Виникають дуже складні асоціації мікроорганізмів, які утворюють активний мул, до якого входять різні й найпростіші. Між ними встановлюються складні трофічні взаємозв'язки.

При інтенсивній аерації середовища та збалансованому співвідношенні біогенних елементів основну масу мулу утворюють бактерії. Однією з найбільш типових для активного мулу організмів є бактерія *Zoogloea ramigera*. Важливою характеристикою цього організму і багатьох інших, які існують в активному мулі, є здатність синтезувати й секретувати в навколишнє середовище полісахаридний гель. Саме наявність гелю обумовлює агрегацію мікроорганізмів та утворення флокул, які називаються активним мулом. Активний мул характеризує висока спорідненість із суспензованими твердими та колоїдними частинками. Ця обставина слугує причиною того, що першою стадією руйнації суспензованих твердих часток у стічних водах є приєднання їх до флокул. Потім адсорбовані частинки зазнають окислення організмами флокули. Активний мул необхідно підпорядковувати повторній аерації під час рециркуляції, тому що при цьому відновлюється його адсорбційна здатність.

На відповідальних підприємствах, наприклад на цукрових заводах, для аеробного очищення стічних вод використовують біологічні ставки – систему ставків глибиною 0,6-1,2 м. Одночасно вони слугують водонакопичувачами.

Важливим в аеробних методах очищення стічних вод є те, щоб у ставках не допускати анаеробних процесів гниття. У літній період, коли температура води в ставках становить +18-25°C, можуть розвиватися одноклітинні фотосинтезуючі водорості, які беруть участь в очищенні води. Після закінчення сезону робіт воду спускають, а активний мул використовують як добрива.

Досліджено, що в біологічних ставках колонії мікроорганізмів вільно переміщуються у воді. Кисень надходить через поверхню води або від фотосинтезуючих водоростей і природним шляхом повільно розчиняється у воді. Концентрація мікроорганізмів й одноклітинних водоростей повинна бути не досить високою, тому що на дні ставка

може з'явитися додатковий осад, почнуть виникати анаеробні процеси гниття і вторинне забруднення водоймища.

Сьогодні у світі інтенсивно використовують методи очищення стічних вод шляхом введення у водні басейни великої кількості повітря (за допомогою спеціальних механічних аераторів та компресорів) та бактеріального мулу при безперервному перемішуванні води. Сучасні аеротенки є, фактично, ферментаторами різної потужності, у яких вирощується активний мул. Багато промислових технологій замінюються технологіями, що використовують ферменти і мікроорганізми під час переробки сільськогосподарських, промислових і побутових відходів для одержання біогазу та добрив.

Анаеробні системи очищення стічних вод. У природних умовах інтенсивний розвиток анаеробних організмів відбувається під час розкладу органічних речовин у болотах, водоймах, ґрунті та в забої тварин.

Для очищення стічних вод з високою концентрацією органічних речовин (при утилізації відходів тваринницьких комплексів та птахоферм, виробництві вітаміну В<sub>12</sub> тощо) використовують метод метанового зброджування. Це особливий анаеробний процес, який здійснюється у відповідних апаратах – метантенках.

На мікрофлору метанового зброджування впливає склад мікроорганізмів стоків, що надходять на очищення. Так, у культуральних рідинах стоків зі свиноферм було виявлено до 50% ентеробактерій *E.coli* та анаеробні стрептококи. Тому такими стоками не можна зрошувати поля без попереднього очищення і знезараження. Метанове зброджування стічних вод рекомендується використовувати не тільки як метод отримання газоподібного палива, цінних органічних добрив і навіть кормових добавок, а як ефективний метод захисту природного навколишнього середовища від патогенної мікрофлори та вірусів.

Водночас необхідно враховувати, що неконтрольоване поширення генно-інженерних живих організмів і продуктів може порушити біологічний баланс у природі та створювати загрозу здоров'ю людини.

### ***Штучна інтенсифікація очищення стічних вод у біоставках***

Штучне біологічне очищення стічних вод, що є одним з найбільш важливих процесів, які виконує людина за допомогою мікроорганізмів, значною мірою відтворює елементи природних екологічних циклів.

Наприклад, вчені Інституту ботаніки НАН України довели, що водорість *Scenedesmus quadricauda* володіє антибактеріальними та альгостатичними властивостями й може бути використана для знезараження вод біологічних ставків і водойм загального користування в разі їх забруднень збудниками інфекційних хвороб, у тому числі і збудником сибірської виразки.

Проточні біологічні ставки при масовому розвитку в них водоростей і витримці технологічного та гідрологічного режимів можуть бути використані для очищення води від яєць гельмінтів.

У 2014 році інтернаціональна група вчених, яка досліджувала води в Японському і Тасмановому морях, виявила зовсім новий вид бактерій, здатних розв'язуват деякі проблеми очищення стічних вод. Дослідники виявили дві абсолютно нові бактерії, які отримали назву *Marinobacter similis* та *Marinobacter salaries*. Унікальною особливістю цих бактерій є їх здатність руйнувати детергенти, які використовують у виробництві миючих засобів та у фармацевтичній промисловості. Молекулярна структура детергентів надзвичайно стійка до руйнування, тому їх викид у водойми призводить до погіршення екологічної ситуації, порушення безпеки умов водокористування і «цвітіння» води.

До основних методів, які можуть бути використані для оздоровлення довкілля, належать:

- розроблення й використання безвідходних технологічних процесів у всіх сферах виробництва;
- зменшення кількості стічних вод за рахунок упровадження зворотно- замкненого технічного водокористування;
- упровадження біологічних методів очищення, глибокого доочищення та знезараження стічних вод;
- використання в технологіях очищення стічних вод іммобілізованих культур мікроорганізмів;
- одержання культурних рослин, здатних фіксувати атмосферний азот без участі мікроорганізмів;
- використання методів генної та клітинної інженерії для отримання культурних рослин, при вирощуванні яких немає необхідності використовувати отрутохімікати для боротьби з гризунами, шкідливими комахами та збудниками хвороб.

## 2. Використання сучасної біотехнології в сільському господарстві та інших галузях господарювання

Відкриття в 1880 р. Ф.М. Каменським явища співжиття рослин із грибами (мікориза), а в 1886 р. М.С. Вороніним – явища співжиття рослин із бульбочковими бактеріями певною мірою підготували ґрунт для подальших досліджень С.М. Виноградського. В 1893 р. він відкрив фіксацію атмосферного азоту в ґрунті вільноживучими бактеріями.

Азотфіксація – один із найважливіших процесів кругообігу азоту в природі, який забезпечує використання азоту повітря для синтезу сполук, доступних для використання живими організмами.

Процес засвоєння молекулярного азоту повітря відбувається за участю вільноживучих азотфіксуючих бактерій – *Asotobakter*, *Clostridium*, а також симбіотичними азотфіксаторами, що живуть у симбіозі з вищими рослинами – бульбочковими бактеріями бобових рослин. До азотфіксаторів належать також деякі анаероби – синьо-зелені водорості та фотосинтезуючі бактерії. Цей процес здійснюється за участю ферменту нітрогенази, яка каталізує відновлення молекулярного азоту до аміака в присутності джерела енергії (АТФ) і сильних відновників (ферредоксину та іонів  $Mg^{2+}$ ):



За участю вільноживучих азотфіксуючих бактерій кожний гектар площі може збагачуватись на 15-30 кг азоту, а за наявності бульбочкових бактерій – на 200-300 кг.

В усьому світі широко досліджується можливість використання біотехнології у сільському господарстві, а саме:

- керування процесами азотфіксації і фотосинтезу, у тому числі, можливість введення генів азотфіксації в геном корисних рослин;
- поліпшення амінокислотного складу рослинних білків;
- використання нових регуляторів росту рослин, мікробіологічні засоби захисту рослин від хвороб і шкідників, бактеріальні добрива;
- генно-інженерні вакцини, сироватки, моноклональні антитіла, що використовують для профілактики, діагностики і терапії основних хвороб сільськогосподарських тварин;
- застосування генно-інженерного гормону росту у створенні більш ефективних технологій племінної справи, а також техніка трансплантації і мікрomanipуляції на ембріонах домашніх тварин;
- використання кормового білка для підвищення продуктивності тварин, отриманого мікробіологічним синтезом тощо.

Наприклад, нині проводяться генно-інженерні дослідження щодо перенесення генів, від яких залежить синтез нітрогенази, із азотфіксуючих бактерій в інші мікроорганізми, що знаходяться в культурних шарах ґрунту. Сьогодні найбільш

розвинутими напрямками науково-практичних робіт в галузі біотехнології рослин

є вивчення:

- стійкості до шкідників і хвороб;
- стійкості до гербіцидів;
- стійкості до несприятливих умов навколишнього середовища;
- здатності витримувати більш широкий спектр умов збереження і переробки;
- вироблення нових корисних біологічних речовин;
- прояви нових декоративних властивостей.

Цими питаннями в Україні займаються вчені Інституту агроєкології та природокористування. Аналізи та спеціальні дослідження дали змогу відмітити сумний факт «сьогодні фіксація атмосферного азоту рослинами в різних регіонах Землі катастрофічно зменшилася. Це стосується в першу чергу рослин квасолі, сої, люпину та інших бобових культур. В інфікованих рослин ВЖМК (Potivirus) цей процес значно прискорюється і підсилюється під впливом таких факторів довкілля, як зміна вологості ґрунту, рН середовища, пестицидного навантаження, радіаційного забруднення тощо. Довготривалі дослідження за маршрутом Черnobиль-Вишгород – Київ – Васильків-Біла Церква – Жашків – Умань – Одеська область показали, що існують регіони де фіксація атмосферного азоту зменшується до 62% і більше.» Вчені відмічають, що майже всі види бобових рослин контаміновані вірусами на 60-78%. Процес бульбочкоутворення у хворих рослин значно нижчий, ніж у здорових.

Співробітники інституту розробили препарати: ризофобіт (препарат бульбочкових бактерій бобових культур), який забезпечує поліпшення азотного живлення, підвищення продуктивності та якості бобових культур; біополіцид (препарат для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур), який пригнічує розвиток фітопатогенних грибів, посилює імунітет рослини, сприяє активізації ростових процесів.

Відомо, що переважна більшість інформації про морфологічний вигляд та функціонування біологічного організму, а також програма



його розвитку закладена в геномі – карті розвитку існуючих та прийдешніх поколінь живих організмів.

Генетична інформація має добрий захист від зовнішнього впливу і досить інертно реагує на зміни в навколишньому середовищі. Водночас необхідно враховувати, що неконтрольоване поширення генно-інженерних живих організмів і продуктів їх обміну може порушити біологічний баланс у природі і являти загрозу навколишньому середовищу і здоров'ю людини.

Біотехнологічні процеси з використанням мікроорганізмів і ферментів широко застосовують у харчовій промисловості. Промислове вирощування мікроорганізмів, рослинних і тваринних клітин – для одержання багатьох цінних сполук, наприклад ферментів, амінокислот, вітамінів, метанола, органічних кислот (оцтової, лимонної, молочної) тощо.

Деякі держави за допомогою мікроорганізмів одержують етиловий спирт, що використовують як паливе для автомобілів (у Бразилії, де паливний спирт широко застосовується, його одержують із цукрового очерету та інших рослин).

Підвищення інтересу до етанолу як палива постало причиною розроблення багатьох нових процесів і нових штамів мікроорганізмів, що значно поліпшило й економічні показники процесу. Процеси за участю бактерій *Zymomonas mobilis* порівняно з дріжджами забезпечують більш високі швидкості виділення глюкози й утворення спирту.

А. Спірін у 1985-1988 рр. розробив принципи безклітинного синтезу білка, коли замість клітин застосовують спеціальні біореактори, що містять необхідний набір очищених клітинних компонентів. Такий метод дозволяє одержувати різні типи білків і знайшов своє використання у виробництві.

На здатності різноманітних бактерій перетворювати метали в розчинні сполуки або накопичувати їх у своєму організмі заснований витяг багатьох металів із бідних руд або стічних вод. Наприклад, бактерії роду *Thiobacillus* (від грец. *theion* – сірка) допомагають виділити мідь з породи. Вони харчуються не вуглеводами, а сіркою й залізом, розмножуються навіть у присутності сильних кислот, навіть самі продукують сірчану кислоту.

Усе більше нових продуктів, раніше невідомих, з'являється на світ завдяки розвитку біопромисловості. Сучасні пластик, текстильні вироби, електроніка – це результат діяльності мікроорганізмів.

Наприклад, відповідні мікроорганізми можуть продукувати полімери із цукру. Так, бактерія *Alkaligenes eutrophus* здатна синтезувати полігідроксibuтират (ПГБ). Її клітини накопичують цей полімер у кількості, що досягає 80% власної маси.

Полімер, що продукується, слугує клітинам мікроорганізму як запасний матеріал (подібно крохмалю в рослинних клітинах) і тому має перевагу над хімічними полімерними матеріалами. ПГБ гідролізується біологічним шляхом. Наприклад, нитки з «біопласту» використовуються для накладання швів на післяопераційні рани.

Інші мікроорганізми синтезують з крохмалю полімер пуллулан, з якого виготовляють тонкі плівки, у які герметично запаковують харчові продукти, щоб зберігати їх свіжими. Пуллулан, подібно крохмалю, розчинюється у гарячій воді. При виробництві нових «мікробних» пластмас економиться електроенергія й сировина, і найголовніше – вони швидко руйнуються мікроорганізмами, тому не забруднюють навколишнє середовище.

### **3. Інтродукція нових видів організмів та її вплив на довкілля**

**Інтродуковані** (чужорідні, адвентивні, або алохтонні види) – види живих організмів, що перебувають у складі неродинних їм угруповань, види за межами своїх природних ареалів. Частіше за все термін вживається для видів, що навмисно або випадково завезені на нове місце в результаті людської діяльності.

Процес освоєння інтродукованого виду на новому місці називається **інтродукцією**.

Прикладом умисної інтродукції є розповсюдження багатьох адвентивних видів бур'янистих рослин, які переміщувались із району до району разом із культурними рослинами, а також багатьох рудеральних рослин, що розповсюджуються за порушенням людиною природних екологічних систем. На південному сході європейської частини Росії швидко розселяються агресивні рудеральні рослини із родів амброзія та циклохену. У багатьох водоймах земної кулі відзначається масове розростання водних бур'янів. Так, у тропічному та субтропічному поясах дуже широко розселилися водний гіацинт та сальвінія настирлива, які наносять значні економічні збитки, особливо у країнах Африки, Південно-Східної Азії та Австралії. У зрошувальних каналах Європи велику шкоду завдає елодея канадська, а у водоймах Канади – розрослася європейська уруть колосиста.

**Лісова інтродукція** – штучне розмноження та вирощування у лісних культурах нових видів дерев'янистих рослин, що раніше не зростали на даній місцевості. Способи інтродукційної роботи та засоби, за допомогою яких вона здійснюється, обирають із урахуванням екології рослин, природних умов району лісової інтродукції та відповідних рівню розвитку науки методів і технічних можливостей її проведення. Її успіх залежить від конкурентної здатності інтродуцента в лісовому угрупуванні. Лісову інтродукцію частіше використовують для цільового вирощування лісу, зокрема для створення лісосировинної бази целюлозо паперової промисловості. Вчені вважають, що лісова інтродукція – додатковий ефективний засіб відновлення хвойних лісів

Значні збитки природним екологічним системам може нанести інтродукція тварин через відсутність природних ворогів, що контролюють їх чисельність. Загальновідомі згубні наслідки інтродукції та натуралізації кролика в Австралії.

У 70-х роках ХХ ст. по берегах озер Буриятка, Ули-Шоркуль Каладжигської системи була полоса очеретяної та рогозової заростей шириною в 100-150 м. Після випуску в ці озера рослиноїдних риб, особливо білого амура, спостерігалася знищення цих заростей, а також підводних і плаваючих рослин. В результаті, фітофільні риби, які жили в озерах, лишилися нерестового субстрату, що викликало в наступні роки різке скорочення вилову сазана та інших цінних промислових риб.

Другий приклад, в Азовське море з експериментальною метою заселили далекосхідну рибу пеленгас, яка дуже швидко розселилася по всій акваторії Азова.

Риба витіснила багато аборигенних видів азовської іхтіофауни і стала одним із основних промислових видів риб цього моря. Отже, біологічні чинники здійснюють істотний вплив на життєдіяльність людини, тварин і рослин, а також на середовище їх існування. Важкі наслідки для довкілля може мати необґрунтована умисна інтродукція нових видів організмів. Часто інтродуковані види здатні істотно змінити екосистему регіону, і стають причиною значного скорочення або навіть вимирання окремих видів місцевої флори і фауни.

## ТЕМА 4. ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНИХ ОРГАНІЗМІВ ТА ЇХ БІОБЕЗПЕКА

1. Поняття про трансгенні організми та продукти.
2. Використання біотехнології в медицині.
3. Можливі ризики використання продукції з ГМ-джерел.
4. Правове регулювання використання генетично модифікованих організмів в Україні та світі.

### 1. Поняття про трансгенні організми та продукти

За останні роки генетична інженерія досягла високого технічного рівня зрілості, унаслідок чого стала реальною продуктивною силою. Безконтрольне вивільнення ГМО може призвести до порушення екологічного балансу та виникнення загрози біологічному різноманіттю.

Протягом останніх тридцяти років найбільшого поширення в суспільстві набули продуценти генної інженерії – **генетично модифіковані організми** (організми, до геному яких за допомогою методів генетичної інженерії інтродуковано функціонуючі сторонні гени або ділянки ДНК), добре відомі за своєю скороченою назвою – ГМО.

**Трансгенний організм** – це рослини, тварини, мікроорганізми, віруси, генетична програма яких змінена із застосуванням методів генної інженерії.

Трансгенні організми почали використовувати для отримання генетично модифікованих джерел їжі та для отримання медичних препаратів.

**Генна інженерія**, або технологія рекомбінантних ДНК, – це науково-практичний напрямок сучасної біомедичної науки, основою методології якого є виділення з клітин індивідуальної ДНК та спрямоване маніпулювання з її молекулами, зокрема, отримання молекулярних химер, тобто молекул, сформованих із фрагментів ДНК різних біологічних видів.

Генна інженерія досягла значних результатів у вирішенні прикладних завдань. Наприклад, у лабораторії Г. Бойера (США, 1977 р.) вперше вдалося змусити бактеріальну клітину виробляти тваринний гормон – соматостатин, вихід якого становив 10 тис. молекул на клітину. Із 100 гр біомаси бактерій, що були вирощені у 8 дм<sup>3</sup> середовища, вдалося отримати 5 мг гормону – стільки, скільки

виділяють з мозку 100 голів овець. До сьогодні в клітинах E.coli клоновано велику різноманітність генів різних організмів, зокрема і генів людини.

## **2. Використання біотехнології в медицині**

У медичній практиці біотехнологічні прийоми і методи відіграють головну роль при створенні нових біологічно активних речовин і лікарських препаратів, призначених для ранньої діагностики і лікування різноманітних захворювань.

Біотехнологічні методи генної інженерії в медицині мають на меті:

1) отримання нових генотипів (та фенотипів) організмів шляхом трансплантації гена одного організму в генотип іншого. Конкретними досягненнями цього біотехнологічного напрямку є створення химерних форм мікроорганізмів, що містять в собі гени, спроможні спрямовувати синтез корисних для людини білкових продуктів, зокрема лікарських засобів – інтерферонів, гормонів, ферментів, імунобіологічних препаратів (наприклад, вакцини проти вірусу гепатиту В) тощо;

2) застосування «генних трансплантацій» для лікування спадкових хвороб людини та тварин – генна терапія. Цей напрямок біотехнологічних досліджень лише започатковано, але він обіцяє в майбутньому створити принципово нові медичні технології терапії практично невиліковних у наш час спадкових хвороб та значної кількості найбільш поширених хвороб, у патогенезі яких певне місце займають спадкові фактори (атеросклероз, цукровий діабет, нервовопсихічні хвороби тощо). Такий підхід уже реалізований у терапії спадкового гіпогонадізму в мишей, у запліднену яйцеклітину яких був імплантований ген гонадоліберину.

**Технологія трансплантації генів** складається з декількох етапів і включає:

1) отримання в чистому вигляді, тобто у формі ізольованого фрагмента ДНК, гена з певними властивостями (тобто такого, що кодує синтез необхідного ферменту, гормону тощо);

2) конструювання рекомбінантної (гібридної, химерної) молекули ДНК;

3) введення рекомбінантної ДНК усередину реципієнтної бактеріальної клітини (тобто такої, у якій буде здійснюватися реплікація);

4) клонування рекомбінантної ДНК.

**Отримання гена (молекули ДНК),** що буде підлягати реплікації (клонуванню) з виходом значної кількості реплік, може бути здійснено такими методами:

- хімічним синтезом гена (можливо тільки для коротких генів, що складаються з декількох десятків азотистих основ);
- виділенням необхідного гена (фрагмента ДНК) з цілісного геному клітини (проблема утруднена у зв'язку із значною складністю геномів еукаріотів, у складі яких значна кількість інтронів та повторів, які не транскрибуються);
- конструюванням на мРНК (що кодує синтез білка, який бажано отримати в результаті біотехнологічної процедури) комплементарної відносно неї ДНК (кДНК).

Метод широко використовується для отримання кДНК і включає виділення з тотальної мРНК тканини мРНК, що кодує трансляцію певного білка (наприклад, інтерферону, інсуліну) з подальшим синтезом на цій мРНК, як на матриці, необхідної кДНК за допомогою зворотної транскриптази.

**Конструювання рекомбінантної ДНК.** Ген, що був отриманий за допомогою вищерозглянутої процедури (кДНК), необхідно ввести в бактеріальну клітину так, щоб він інтегрувався в її геном. Для цього формують рекомбінантну ДНК, що складається з кДНК та особливої молекули ДНК, яка править за провідник, або вектор, здатний до проникнення в реципієнтну клітину. У ролі векторів для кДНК застосовують віруси або плазміди.

**Плазміди** – це невеличкі кільцеві молекули ДНК, які розташовані окремо від нуклеоїду бактеріальної клітини (зокрема, *E. coli*), містять у своєму складі декілька важливих для функції всієї клітини генів (наприклад, гени стійкості до антибіотиків) і можуть реплікуватися незалежно від основного геному (ДНК) клітини.

Біологічно важливими і практично корисними для генної інженерії властивостями плазмід є їх здатність до переходу з однієї клітини в іншу за механізмом трансформації або кон'югації, а також спроможність включатися в бактеріальну хромосому та реплікуватися разом з нею. Для конструювання рекомбінантної ДНК і кільцеву ДНК плазміди, і лінійну кДНК розщеплюють за допомогою високоспецифічних до певних нуклеотидних послідовностей ендонуклеаз, так званих рестриктаз.

**Введення рекомбінантної ДНК у клітину та клонування необхідного гена.** Рекомбінантні ДНК, що складаються з плазмідної

ДНК та ДНК гена, що трансплантується (наприклад, гена, який кодує синтез певного білка організму людини) при взаємодії з бактеріальними клітинами (що є нормальними господарями для цієї плазміди), можуть проникати всередину останніх.

У середині клітини-хазяїна відбувається реплікація (клонування) рекомбінантної ДНК з утворенням багатьох тисяч копій. У подальшому ці клоновані ДНК виходять з бактеріальної клітини, і з них можна (знову ж таки за допомогою рестриктаз) виділити велику кількість копій гена, який потрібний.

Прокаріоти і, насамперед, *E.coli* не володіють біохімічним механізмом, який здатний здійснювати сплайсинг РНК. Тому еукаріотичний ген, включений прямо в *E.coli*, не буде нормально експресуватися. В *E.coli* будуть транлюватися послідовності інтронів еукаріотичного гена мРНК, і поліпептид, який синтезується, буде різко відрізнятися від нормального еукаріотичного білка.

Тому необхідно готувати бактеріальний ген так, щоб він вмщував тільки нуклеотидну послідовність, що кодує первинну структуру білка (екзони) і не вмщує жодного інтрону. Це досягається двома шляхами: хімічним синтезом заданої послідовності нуклеотидів або отриманням бактеріального гена, відповідного еукаріотичному білку, виходячи із зрілої мРНК, яка уже пройшла стадію сплайсингу.

Сьогодні для клонування генів, крім бактерій, використовують клітини дріжджів, грибів, рослин і навіть вищих тварин.

Людство зазнає труднощів з дефіцитом інтерферону – важливим білком в організмі людини, якому властива протиракова та провітавірусна активність. Інтерферон характеризується видовою специфічністю, тобто тваринний інтерферон для лікування людини не використовується, тому що він відторгується та малоефективний.

У 1979 році професор Чарльз Вайсман винайшов бактеріальні колонії, які могли продукувати людський інтерферон. Із клітин (лейкоцитів) крові людини, яка перенесла вірусне захворювання, була виділена інформаційна РНК, що забезпечувала синтез інтерферону. На її основі синтезували ген людського інтерферону.

### ***Недосконалість методів генетичної модифікації***

Маніпулювання генетичним матеріалом на молекулярному рівні поки лишається складною операцією. Найбільш слабкою ланкою є перенесення бажаного гена в геном реципієнта. Навіть сама природа, а зовсім не генна інженерія, і тепер усе ще продукує небезпечні нові мутанти, наприклад, віруси грипу, які постійно змінюються.

Клонування необхідного гена і його експресія ефективно виконуються як окремі послідовні операції. Тому дуже важливий постійний контроль за різними перетворюваннями ДНК шляхом визначення нуклеотидної послідовності та вивчення фрагментів, що утворюються при розщепленні рестриктазами.

Постає питання: чи не можуть мікроорганізми, які підлягають різним генно-інженерним змінам, бути використаними для воєнних цілей?

З 1975 року існує міжнародна угода, яка забороняє розроблення і впровадження «біологічної зброї». Це підвищує роль учених-біологів, які несуть відповідальність за дотримання цієї угоди, бо тільки завдяки їх діяльності генна інженерія може бути використана в неправомірному напрямку.

Існування власної (національної) біотехнологічної промисловості з виробництва стратегічних медичних і ветеринарних препаратів для боротьби з найважливішими біозагрозами є основою біобезпеки для будь-якої країни. Наразі Україна не має виробництва жодного власного сучасного антибіотика (четвертого і п'ятого поколінь), жодного власного вітаміну. Найчастіше українські фармацевтичні компанії купують субстанції для виготовлення ліків за кордоном, фасують їх і потім продають. Тому створення національного центру сучасних (клітинних і генних) технологій є одним з найголовніших завдань для системи біобезпеки держави.

### **3. Можливі ризики використання продукції з ГМ-джерел**

Трансформація рослин за допомогою штучно синтезованих генів чи хромосом, які дають змогу переносити цілі «блоки» генетичної інформації, створює можливість формування нових синтетичних організмів, що також відразу порушує питання біобезпеки генно-інженерної діяльності, розширюючи коло етичних питань у дискусіях про місце, значення і роль сучасних біотехнологій.

Основними виробниками генетично модифікованих рослин є транснаціональні корпорації, які мають свої представництва в багатьох країнах. Перші трансгенні продукти розробила американська корпорація Monsanto. Сьогодні ця компанія контролює 80% світового ринку виробництва ГМО. У 1988 році були зроблені перші посіви трансгенних злаків, а в 1993 р. перші продукти із ГМО-компонентами з'явилися в продажі.



Сьогодні ГМ-рослини офіційно вирощуються у 25 країнах світу та зайняли у 2011 році 170,3 млн га світових сільськогосподарських угідь, а харчові продукти, що містять ГМО, є частиною щоденного раціону мільйонів людей. Загальна вартість ГМ-культур у 2011 році сягала 19,7 млрд доларів. У 2012 році лідерами з вирощування ГМ-культур були 11 країн (США, Бразилія, Аргентина, Канада, Індія, Китай, Парагвай, Південна Африка, Пакистан, Уругвай, Болівія), у яких площі посіву становили 98,57% світових посівних площ ГМ-культур.

Продукція ГМО почала з'являтися у продажу в різних країнах світу ще в середині 90-х років минулого століття. Але, на відміну від США, де такі товари частіше всього не маркувалися, почали безперешкодно потрапляти до інших держав, включаючи країни колишнього СРСР.

У Західній та Північній Європі одразу дуже прискіпливо поставилися до цієї продукції. Уряди держав вимагали надання інформації про ГМО-походження продуктів та можливі ризики, що існують для споживачів при їхньому вживанні.

Керуючись вимогами міжнародних біоетичних стандартів, постачальники мали ретельно роз'яснювати населенню, чим саме може загрозувати споживання продуктів харчування, лікарських препаратів або іншої продукції, що містить ГМО чи їх компоненти.

Крім трансгенних рослин, існують трансгенні тварини, м'ясо яких давно використовують у всьому світі. Деякі західні компанії (Pharmino – Нідерланди, Transgenics Advanced, Cell Technology і PPL – США) займаються вирощуванням спеціальних трансгенних тварин, в організмі яких виробляється особливий білок, що використовується для виробництва ліків.

На Конференції ООН з довкілля і розвитку в червні 1992 року в Ріо-деЖанейро був прийнятий Протокол порядку денного на 21 сторіччя, у якому конкретно передбачено необхідність забезпечити екологічно безпечне регулювання біотехнологій: «Тільки у випадку наявності належних прозорих процедур забезпечення безпеки і прикордонного контролю співтовариство в цілому буде мати максимальні можливості для отримання користі від застосування біотехнології і більшою мірою із готовністю визнає пов'язані з нею потенційні вигоди і ризики».

17 листопада 1995 року на Конференції в Ріо-де-Жанейро було прийняте рішення 11/5 Сторін Конвенції про розробку «Протоколу про

біобезпеку», у якому приділялась особлива увага транскордонному переміщенню будь-якого живого зміненого організму (ЖЗО), отриманого внаслідок застосування сучасної біотехнології, яка може мати несприятливий вплив на збереження і стале використання біологічного різноманіття.

Біобезпека ГМО, на відміну від інших безпек, маловивчена, але системи біологічної безпеки створюють у багатьох державах. Країнам, що розвиваються, у цьому питанні сприяє програма ООН із захисту довкілля (ЮНЕП) спільно з Глобальним екологічним фондом (ГЕФ).

У 2005 р. комісія ЄС відхилила пропозицію щодо можливості імпорту та використання генетично модифікованої кукурудзи в ЄС. У січні 2005 року обмеження запровадила Угорщина, а в березні 2005 року – Польща.

Наразі прикладів серйозної екологічної небезпеки генетично модифікованих продуктів (ГМП) не виявлено, хоча їх потенційна небезпека не підлягає сумніву.

Суспільство, перш за все, цікавить питання щодо дії ГМП на здоров'я людини і стан довкілля.

Прогнози ґрунтуються не на фактичних даних, а на підставі загальних біологічних закономірностей, що базовані на положеннях генетики. Крім того, існує думка, що можуть виникнути небезпечні віруси.

Експериментально доведено, що вбудовані в геном гени вірусів можуть об'єднатися з генами інфекційних вірусів (т.зв. рекомбінація). Нові віруси можуть бути агресивнішими, ніж вихідні, і менш видоспецифічними. Наприклад, віруси рослин можуть стати шкідливими для корисних комах, тварин, а також людини.

На цьому етапі розвитку біотехнологій масштабне поширення ГМО є передчасним і може бути реальною загрозою існуванню біоти.

**Ризик у генній інженерії** – це ймовірність здійснення небажаного впливу генетично модифікованого організму на довкілля, збереження і стійке використання біологічної різноманітності, у т.ч. здоров'я людини, унаслідок перенесення генів.

Узагальнюючи формулювання із Картахенського протоколу про біологічну безпеку до конвенції про біологічне різноманіття і Директиви 2001/18/ЄС Європейського парламенту та Ради Європейського Союзу ГЗО (генетично змінений організм) визначається як будь який організм, за винятком людського, у якому генетичний матеріал був змінений завдяки використанню сучасної

біотехнології шляхом, відмінним від природного об'єднання та (або) природної рекомбінації.

Базуючись на принципі перестороги (15 принцип Декларації Ріо), який викладено в Декларації щодо довкілля та розвитку, перш ніж впроваджувати будь-які новітні технології, необхідно створити реальну дієву систему регулювання та контролю, яка гарантує безпеку для людини та довкілля при використанні цієї технології.

**Небезпечні маркерні гени.** При створенні ГЗО, який сам по собі теж пов'язаний з випадковістю, виникає необхідність відбору таких екземплярів, які набули нових властивостей. Для цього в геном реципієнту вбудовують спеціальні маркерні гени, які дають можливість розпізнати ті екземпляри, що були успішно модифіковані.

Найчастіше це гени мікроорганізмів, що мають стійкість до антибіотиків.

Маркерні гени функціонально не потрібні модифікованому організму і використовуються тільки в технічних цілях для відбору. Існує ймовірність, що ген тійкості до антибіотиків потрапить у навколишнє середовище та включиться до складу вільноживучих видів. Він може передатися бактеріям шлунково-кишкового тракту тварин або людини, а також ґрунтовим бактеріям. Це може спричинити поширення інфекційних хвороб та значні витрати на створення нових медичних засобів.

**Горизонтальне перенесення генів.** Горизонтальне перенесення генів – це переміщення генетичного матеріалу між клітинами або геномами, які належать неспорідненим видам, шляхом, відмінним від звичайної репродукції. Така здатність використовується в генній інженерії при перенесенні нових генів до організму реципієнта.

Визначення реальності небезпеки горизонтального переносу генів потребує нових досліджень. Наприклад, варто проаналізувати динаміку інфекційних захворювань та поширення стійкості мікроорганізмів до антибіотиків за останні 20 років, простежити її кореляцію з різними факторами, у тому числі з ростом вивільнення ГЗО у довкілля. Фактично, більшості трансгенних рослин надано досить небезпечних ознак. На сьогодні стійкість до гербіцидів мають 75% ГМ-культур, стійкість до шкідників – 17%, а більшість маркерних генів – стійкість до антибіотиків.

Поширення таких ознак може мати непередбачені наслідки для природних екосистем та сільського господарства.

***Вплив генетичних технологій на навколишнє середовище***

Впровадження генетичних технологій у сільське господарство, зокрема, зерновиробництво, а найближчим часом, і в тваринництво та рибне господарство, пропонується як засіб зниження тиску на природу та навіть її захист. Абсолютна більшість впроваджених сортів ГМ рослин має стійкість до гербіцидів та шкідників. Це має зменшити використання відповідних засобів захисту рослин. Стійкість до гербіцидів означає, що останні або не включаються до метаболізму рослини, або дуже швидко виводяться, не встигаючи заподіяти шкоди. Виникає питання, чи не залишаються гербіциди в неактивній формі в тканинах рослин, і як вони себе поведуть в харчових ланцюгах. Тобто, який вплив може бути на тварин або людину, які споживають ці рослини?

На практиці, слідуючи природним біологічним законам, ГМ сільськогосподарські рослини схрещуються з дикими спорідненими видами, що може призвести до виникнення, наприклад, стійких до гербіцидів «супербур'янів» або отруйних для своїх природних ворогів гібридів (у випадку передачі гена стійкого до інсектоцидів).

Горизонтальне перенесення генів загрожує переносу названих генів у неспоріднені види, що є ще більш небезпечним. Штучно надані властивості ГМ сільськогосподарських культур (стійкість до гербіцидів, комах тощо) можуть дестабілізувати впливати на природну рівновагу екологічних систем, і без того підірвану іншими видами людської діяльності.

Широко використовуючи ГМ сільськогосподарські культури, ми вносимо нові неконтрольовані впливи чинників на рівновагу в природі. Для умов України, де природні екосистеми перебувають під значним антропогенним впливом, додавання нового (генетичного) чинника може докорінно змінити, або зовсім дестабілізувати речові та енергетичні зв'язки в екосистемі. Вченими доведено, що для десяти гібридних ліній Vt- кукурудзи, модифікованих геномом токсину Cry1Ab виявлено накопичення лігніну від півтора до дворазового рівня відносно норми. Це зумовило зменшення інтенсивності біодеградації рослинних решток Vt-кукурудзи ґрунтовими мікроорганізмами і суттєво знижувало загальну метаболічну активність ґрунту. ДНК з трансгенних рослин іноді може не розкладатися в ґрунті і залишатися стабільною від декілька годин до декілька років, що може призводити до неконтрольованого поширення чужорідних генів, утворення нових вірулентних штамів вірусів, зменшення біорізноманіття агроценозів.

Створюючи та інтродукуючи у природу генетично модифіковані організми, ми починаємо впливати на еволюційний процес, порушуємо генетичні бар'єри між таксономічними групами, починаючи з родів і закінчуючи навіть царствами (наприклад, у випадку пересадки рослинам генів ссавців). Потрапивши у природні умови, ГЗО можуть докорінно змінити вигляд існуючих екосистем та спричинити зникнення деяких видів тварин та рослин.

Однією з екологічних небезпек неконтрольованого забруднення навколишнього середовища є поширення генів вбудованих в геном мікроорганізмів. Передачу генетичної інформації від ГМ-мікроорганізмів до місцевих (аборигенних) штамів мікроорганізмів можна розглядати як суттєвий екологічний вплив, оскільки це може змінити генетичне різноманіття даної групи організмів.

З іншого боку, зміни генетичного різноманіття можуть призвести до непередбачувальних змін у морфології мікроорганізмів та їх особливостях взаємодії з іншими компонентами даної екосистеми, що зумовить негативний вплив на навколишнє середовище.

***Різні порушення здоров'я в результаті появи у ГМО нових, незапланованих білків або токсичних для людини продуктів метаболізму.***

Існують переконливі докази порушення стабільності геному при вбудовуванні в нього чужорідного гена. Це може слугувати причиною зміни хімічного складу ГМО і виникнення несподіваних, у тому числі токсичних властивостей продукту. Наприклад, для виробництва харчової добавки триптофану в США в кінці 80-х років ХХ століття була створена ГМ-бактерія. Однак разом зі звичайним триптофаном, за нез'ясованих до кінця причин, вона стала виробляти **етиленбіс-триптофан**. У результаті вживання цієї харчової добавки захворіло 5000 осіб, з них 37 померло, 1500 стали інвалідами.

***Поява стійкості патогенної мікрофлори людини до антибіотиків***

При отриманні ГМО до цього часу використовують маркерні гени стійкості до антибіотиків, які можуть перейти в мікрофлору кишечника, що було показано у відповідних експериментах, а це також може призвести до медичних проблем – неможливості вилікування багатьох захворювань.

З грудня 2004 р. у ЄС заборонено продаж ГМО з використанням генів, стійких до антибіотиків. Всесвітня організація охорони здоров'я рекомендує виробникам утриматися від використання цих генів, проте

корпорації від них повністю не відмовилися. Ризик таких ГМО, як наголошується в оксфордському Великому енциклопедичному довіднику, досить великий і «доводиться визнати, що генна інженерія не настільки безпечна, як це може здатися на перший погляд».

За даними досліджень британських учених в рамках державного проекту «Оцінка ризику, пов'язаного з використанням ГМО в продуктах харчування для людини», оприлюднених у 2002 р., трансгени мають властивість затримуватися в організмі людини і в результаті так званого «горизонтального переносу» вбудовуватися в генетичний апарат мікроорганізмів кишечника людини. Раніше подібна можливість заперечувалася. Тому додатково необхідно ще вивчати такі питання:

- здатність генетично модифікованих мікроорганізмів (ГММ) заселяти кишечник людини та тварини;
- здатність ГММ викликати захворювання в людини та рослини;
- здатність ГММ передавати гени іншим кишковим та ґрунтовим бактеріям.

#### **4. Правове регулювання використання генетично модифікованих організмів в Україні та світі**

Проблеми забезпечення належного захисту від негативного впливу ГМО, а також їх транскордонного переміщення, стали причиною розроблення Картахенського протоколу про біобезпеку в рамках Конвенції з біорізноманіття.

*Картахенський протокол, нормативні та організаційні основи забезпечення безпеки життя – живих змінених організмів (ЖЗО).*

29 січня 2000 р. у Монреалі (Канада) 130 країн підписали Протокол з біологічної безпеки як додаток до Конвенції про біологічну різноманітність. Метою цього першого Протоколу до КБР було створення передумов для безпечного міждержавного транспортування, оброблення та використання живих модифікованих організмів (ЖМО), тобто одержаних засобами генної інженерії рослин, тварин і мікроорганізмів.

*Біобезпека застосування ГМО в країнах ЄС.* Країни ЄС мають як розвинену систему наукових досліджень у галузі біобезпеки й аналізу перспектив розвитку біотехнології, так і досить відрегульовану національну правову базу щодо застосування ГМО.

На ринку в ЄС можуть бути розміщені тільки зареєстровані ГМО. Процедура реєстрації є дуже складною та вимагає участі всіх країн-

членів ЄС, оскільки в разі її завершення ГМО може бути розміщеним на всіх 28 національних ринках країн-членів ЄС протягом 10 років.

### **Основні нормативні документи в поводженні з ГМО в ЄС:**

1. **Директива 2001/18/ЄС** Європейського Парламенту і Ради від 12 березня 2001 року про вивільнення в навколишнє середовище генетично модифікованих організмів та про скасування Директиви Ради 90/220/ЄЕС.

Основною метою Директиви є забезпечення більшої ефективності та прозорості порядку надання погодження щодо вивільнення в навколишнє середовище та розміщення на ринку генетично модифікованих організмів (ГМО), обмеження терміну дії такого погодження до десяти років (з можливістю продовження) та запровадження обов'язкового моніторингу після розміщення ГМО на ринку.

Директива також визначає загальну методологію оцінки на індивідуальній основі ризиків для навколишнього середовища, пов'язаних з вивільненням ГМО (принципи, що стосуються оцінки екологічних ризиків, викладені в Додатку II до Директиви), спільні цілі моніторингу ГМО після їх вивільнення в навколишнє середовище або розміщення на ринку, а також механізм, що дозволяє змінювати, зупиняти або припиняти вивільнення ГМО при появі нової інформації щодо ризиків такого вивільнення.

Консультації з громадськістю та маркування ГМО є обов'язковими відповідно до нової Директиви. Система обміну інформацією, яка міститься в повідомленнях, створена відповідно до Директиви 90/220/ЄС, зберігається. Комісія зобов'язана проводити консультації з компетентними науковими комісіями з будь-яких питань, які можуть вплинути на здоров'я населення та/або стан навколишнього середовища. Вона також може звернутися до етичних комітетів. Директива вимагає забезпечення створення реєстрів з метою запису інформації про генетичні модифікації ГМО та розташування ГМО.

**Директива 2009/41/ЄС** Європейського Парламенту і Ради від 6 травня 2009 року про використання генетично модифікованих мікроорганізмів у замкненій системі передбачає спільні заходи щодо використання генетично модифікованих мікроорганізмів (ГММ) у замкненій системі, спрямовані на забезпечення захисту здоров'я населення та навколишнього середовища.

2. Регламент (ЄС) № 1946/2003 від 15 липня 2003 року Європейського Парламенту і Ради про транскордонні перевезення генетично модифікованих організмів за винятком умисного переміщення в рамках Співтовариства регулює переміщення ГМО між ЄС та іншими країнами.

3. Регламент (ЄС) № 1830/2003 Європейського Парламенту і Ради від 22 вересня 2003 року стосовно відстеження та маркування генетично модифікованих організмів та відстеження продуктів харчування і кормів, вироблених з генетично модифікованих організмів, та про внесення змін і доповнень до Директиви 2001/18/ЄС.

4. З 1 червня 2004 року запроваджено нові правила маркування в країнах Європейського Союзу. Маркуванню має підлягати вся харчова продукція з вмістом ГМО понад 0,9%, а також харчова продукція, що отримана з ГМР, але не містить білка і ДНК.

### ***Біобезпека застосування ГМО в Україні***

Україна перебуває в центрі уваги провідних біотехнологічних компаній, які зацікавлені у просуванні своєї продукції на її ринок. Де-юре в Україні не зареєстровано жодної ГМ-культури, але де-факто щороку ними, згідно з оцінками експертів, засіваються тисячі гектарів полів. Офіційної інформації про рівень поширення ГМО в Україні, на жаль, немає. Це є наслідком недосконалої системи державного контролю та відсутності ефективних польових наглядових програм. У 2010 році в Україні було вирощено 0,8 млн тонн сої, 11,4 млн тонн кукурудзи та 2,9 млн тонн ріпаку. Частка ЄС в імпорті української сої становила 15,5 %, кукурудзи – понад 50%, а ріпаку – понад 90%. Це свідчить про те, що ринок ЄС є надзвичайно важливим для України.

Експерти прогнозують, що ЄС у майбутньому буде одним з головних ринків для української сільгосппродукції та продукції харчової промисловості. Тому національним виробникам необхідно забезпечити відповідність своєї продукції вимогам європейським нормативних актів щодо ГМО. Інакше можливості зростання експорту до ЄС будуть обмеженими.

### ***Основні нормативні документи в поводженні з ГМО в Україні***

Окремі аспекти української регуляторної системи щодо ГМО вже відповідають вимогам ЄС, зокрема:

1. Україна за Законом від 29.11.1994 р. № 257/94 ратифікувала Конвенцію ООН про охорону біологічного різноманіття.

2. У 2002 р. Україна приєдналася до Картахенського протоколу (Закон України від 12.09.02 р. № 152 – IV) і цим засвідчила свою



позицію щодо підтримки необхідності вжити скоординованих заходів для забезпечення належного рівня захисту в галузі безпечного передання, обігу, оброблення, транскордонних переміщень і використання ГМО, отримані внаслідок застосування сучасних біотехнологій і можуть негативно впливати на збереження та невиснажливе використання біорізноманітності, з урахуванням високих ризиків для здоров'я людини.

Але повноцінне виконання Україною міжнародних зобов'язань за Картахенським протоколом про біобезпеку потребувало концептуального окреслення засад державної політики у сфері біобезпеки ГМО, а також визначення довгострокових механізмів її реалізації.

31 травня 2007 року був прийнятий Закон України № 1103-У «Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні генетично модифікованих організмів». Він регулює відносини між органами виконавчої влади, виробниками, продавцями (постачальниками), розробниками, дослідниками, науковцями та споживачами генетично модифікованих організмів та продукції, виробленої за технологіями, що передбачають їх розроблення, створення, випробування, дослідження, транспортування, імпорт, експорт, розміщення на ринку, вивільнення в навколишнє середовище та використання в Україні із забезпеченням біологічної і генетичної безпеки.

Це перший законодавчий акт України, який повинен був забезпечити системний підхід щодо поводження з ГМО. Але внесений і прийнятий поспіхом, закон вийшов достатньо загальним, і тому багато питань, які потребували регулювання, залишилися поза ним. Крім того, депутати проігнорували його обов'язкове громадське обговорення, передбачене статтею 23 Картахенського протоколу, де йдеться про інформування громадськості та її участь у питаннях, що стосуються використання ГМО.

У 2007-2009 роках його реалізація Урядом України не забезпечувалася, тому що чинні нормативно-правові акти Кабінету Міністрів України не відповідали цьому Закону, а також не були переглянуті та не скасовані нормативно-правові акти міністерств та інших центральних органів, що суперечать цьому Закону.

Як наслідок, в Україні на сьогодні відсутній дієвий державний контроль за ввезенням іноземними компаніями власних сортів рослин, у тому числі генетично модифікованих, що призвело до значних

масштабів їх несанкціонованого розповсюдження і використання в Україні. Генетично модифіковані сорти безперешкодно заволодівали великою часткою аграрного ринку України, що спричинило загрозу поступової втрати продовольчої, а також біологічної та генетичної безпеки країни.

Підготовка до підписання Угоди про асоціацію України з ЄС (EU Ukraine Association Agreement) здійснювалася й у попередні роки, особливо останнім часом активізувалася адаптація екологічного законодавства ЄС в Україні. Так, 19 січня 2010 року було прийнято Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні генетично модифікованих організмів» № 1804-VI. Зміни набрали чинності з 18.11.2012 р.

#### **Регулюванню Закону про біобезпеку України підлягають:**

1) генетично-інженерна діяльність, що здійснюється у замкненій системі;

2) генетично-інженерна діяльність, що здійснюється у відкритій системі;

3) державна реєстрація ГМО та продукції, виробленої з їх використанням;

4) введення в обіг ГМО та продукції, виробленої з їх використанням; експорт, імпорт та транзит ГМО.

5) Забезпечення виконання Закону України «Про державну систему генетично модифікованих організмів» покладено на центральні органи виконавчої влади у межах повноважень і в порядку, передбаченому законодавством України, зокрема на:

**Кабінет Міністрів України** (ст. 7). Відповідає за розробку нормативно-правових актів на виконання Закону про біобезпеку, а саме:

- забезпечує державне регулювання і контроль у сфері поводження з ГМО та генетично-інженерної діяльності;

- затверджує порядок державної реєстрації ГМО та продукції, отриманої з їх використанням;

- затверджує порядок ввезення ГМО джерел харчових продуктів, кормів і харчових продуктів та кормів, вироблених із ГМО;

- затверджує порядок надання дозволу на транзитне переміщення ГМО через територію України;

- затверджує порядок ліцензування генетично-інженерної діяльності у замкненій та відкритій системах;

- затверджує порядок проведення державної апробації (випробовувань) ГМО у відкритій системі та отримання дозволу на їх проведення;

- затверджує критерії безпеки поводження з ГМО у замкненій системі.

**Міністерство освіти та науки** – центральний орган виконавчої влади з питань освіти і науки (ст. 8):

- забезпечує розвиток наукового і науково-технічного потенціалу в галузі генетично-інженерної діяльності;

- розробляє критерії безпеки поводження з ГМО та генетично інженерної діяльності у замкнених системах;

- розробляє та вдосконалює систему контролю за дотриманням правил безпеки генетично-інженерної діяльності;

- здійснює ліцензування генетично-інженерної діяльності в замкнених системах (наприклад, лабораторії);

- надає дозволи на ввезення незареєстрованих ГМО, якщо вони використовуються виключно для науково-дослідних цілей, а також з метою їх державних випробувань.

**Міністерство екології та природних ресурсів України** – центральний орган виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів (ст. 9):

- реалізує державну політику у сфері охорони навколишнього природного середовища;

- здійснює державну екологічну експертизу ГМО, призначених для використання у відкритій системі – розробляє критерії оцінки ризику потенційного впливу ГМО на навколишнє природне середовище;

- здійснює державну реєстрацію засобів захисту рослин, отриманих з використанням ГМО;

- здійснює державний нагляд і контроль за дотриманням заходів біологічної та генетичної безпеки щодо біологічних об'єктів природного середовища при створенні, дослідженні та практичному використанні ГМО у відкритій системі;

- надає дозволи на вивільнення ГМО у відкритій системі.

**Міністерство охорони здоров'я** забезпечує формування державної політики у сфері охорони здоров'я . Центральний орган виконавчої влади, що:

- забезпечує формування державної політики у сфері охорони здоров'я на основі наукових принципів та міжнародного досвіду;

- розробляє критерії оцінки ризику потенційного впливу на здоров'я людини ГМО та продукції, отриманої з використанням ГМО, у тому числі харчових продуктів;

- затверджує перелік харчових продуктів, щодо яких здійснюється контроль вмісту ГМО та перелік відповідних методик детекції та ідентифікації ГМО.

**Міністерство аграрної політики та продовольства України** – центральний орган виконавчої влади з питань аграрної політики (ст. 11) забезпечує державну апробацію та державну реєстрацію створених на основі ГМО сортів сільськогосподарських рослин, порід тварин, мікробіологічних і ветеринарних препаратів.

Центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері безпечності харчових продуктів:

- здійснює державну реєстрацію ГМО джерел харчових продуктів, кормів, кормових добавок та ветеринарних препаратів, які містять ГМО або отримані з їх використанням;

- затверджує перелік відповідних методик детекції та ідентифікації ГМО;

- готує пропозиції щодо затвердження переліку кормів, кормових добавок та ветеринарних препаратів, у яких здійснюється контроль вмісту ГМО;

- проводить моніторинг кормів, кормових добавок та ветеринарних препаратів, отриманих з використанням ГМО, за критерієм наявності в них зареєстрованих ГМО джерел.

Водночас цей Закон не застосовується до людини, тканин та окремих клітин у складі людського організму.

1 серпня 2007 року була прийнята, а з 1 листопада 2007 року набула чинності **Постанова Кабінету Міністрів України №985 «Питання обігу харчових продуктів, що містять ГМО і/чи мікроорганізми»**.

Відповідно до постанови, заборонено ввезення, виробництво і реалізацію харчових продуктів, призначених для дитячого харчування, якщо вони містять ГМО чи генетично модифіковані мікроорганізми (ГММ).

З метою ідентифікації харчових продуктів без ГМО та їх наявності в продуктах харчування, Кабінет Міністрів України 13.05.2009 р. прийняв постанову №468 «Про затвердження Порядку етикування харчових продуктів, які містять генетично-модифіковані організми або вироблені з їх використанням та вводяться в обіг». Однак така

інформація повинна мати підтвердження спеціалістів Держспоживстандарту. а виявлені продукти з вмістом ГМО або виготовлені з їх використанням і введені в обіг в Україні без маркування підлягають вилученню.

17 грудня 2009 року Верховною Радою прийнятий *Закон України № 1778-VI «Про внесення змін до Закону України «Про безпечність та якість харчових продуктів»* щодо інформування громадян про наявність у харчових продуктах генетично модифікованих організмів (ГМО)», який набрав чинності з дня його опублікування, тобто з 30 грудня 2009 року та Закон України № 1779-VI «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо надання інформації про вміст у продукції генетично модифікованих компонентів», який набрав чинності з 7 березня 2010 року.

Зазначеними законами передбачено обов'язкове маркування харчових продуктів при наявності в них більше 0,9% ГМО, чи відсутності в них ГМО, що повинно відображатися на етикетці написом «З ГМО» чи «Без ГМО» відповідно.

Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 09.11.2010 р. № 971 та який зареєстровано в Міністерстві юстиції України 13 грудня 2010 р. За № 1248/18543 затверджений Перелік харчових продуктів, щодо яких здійснюється контроль вмісту генетично модифікованих організмів.

На виконання Законів України «Про захист прав споживачів» і з метою гармонізації законодавства України з нормами ЄС Кабінет Міністрів постановив: *ввезення і реалізація харчових продуктів, що містять генетично модифіковані організми в кількості понад 0,9%, здійснюються за наявності відповідного маркування із зазначенням якісного складу таких продуктів.*

ГМО потрапляє до харчових продуктів в Україні головним чином із сільськогосподарської сировини, що імпортується в Україну та з ГМ культур, вирощених в Україні.

Трансгенні продукти можна визначити за допомогою специфічного молекулярно-біологічного аналізу, для цього необхідні кваліфіковані спеціалісти і відповідна лабораторна база. В Україні вона не розвинута, що робить неможливим діючий контроль за ГМ – продукцією.

У 2007 році на базі Державного підприємства Всеукраїнський центр стандартизації, метрології, сертифікації і захисту прав споживачів (Укрметртестстандарт, м. Київ) при підтримці

Держпотребстандарту була **організована лабораторія молекулярно-генетичних досліджень**. Головне направлення її діяльності – моніторинг харчових продуктів та продовольчої сировини на наявність ГМО, розробка методів кількісного та якісного визначення ГМО в продуктах харчування та сировині. Проведено перший вибірковий дослід по виявленню ГМО в продуктах харчування, відібраних в торговій мережі м. Києва. Результати аналізів ковбасних, рибних, молочних продуктів та дитячого харчування з супермаркетів показали, що майже в половині зразків були присутні ГМО. В 2010 році така перевірка була проведена неодноразово і результати підтвердили наявність ГМО в дитячих продуктах на яких була позначка «Без ГМО». Хоча серед законів України у досліджуваній сфері високу ступінь відповідності міжнародному та європейському законодавству має лише Закон України «Про дитяче харчування» №142-V від 14 вересня 2006 року, який набув чинності з 01.01.2007 року.

Таким чином, головним недоліком Закону України «Про внесення змін до деяких законів України» у зв'язку з прийняттям Закону України «Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні ГМО» є те, що він *не передбачає створення єдиного контролюючого органу, до компетенції якого б належало регулювання питань щодо поводження, використання, транспортування та випробування ГМО.*

В Україні сьогодні повноваження щодо ГМО розподілені між декількома центральними органами виконавчої влади. Для того щоб централізувати регуляторні функції та ефективно реалізовувати державну політику у цій сфері доцільним було б створення єдиного державного органу з питань біобезпеки.

Згідно Постанови КМУ від 28.08.2013 р. № 808 пункт 31. «Генетично-інженерна діяльність, введення в обіг генетично модифікованих організмів та продукції, виробленої з їх використанням (у відкритій та закритій системах)» відноситься до видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку і для них здійснення державної екологічної експертизи є обов'язковим.

### **Угода про асоціацію з ЄС та вплив на регулювання ГМО в Україні**

Після підписання Угоди про асоціацію з ЄС (27 червня 2014 р.) доцільним стало не тільки розроблення і прийняття в Україні спеціальних законів та підзаконних документів про використання

ГМО, а, особливо, запровадження системи жорсткого контролю за використанням такої продукції, яка ще в 2004 році впроваджена в державах ЄС.

Шлях до членства України в ЄС вимагає імплементації нормативно-правових актів Європейського Союзу щодо ГМО.

Стратегія екологічної конвергенції розробляється Міністерством екології та природних ресурсів України. З цією метою створено секторальні робочі групи Міністерства, які працюють спільно з міжнародними експертами. Завдання робочих груп полягає у розробленні заходів, необхідних для реалізації (імплементації) тієї чи іншої Директиви із переліку, наведеного в Угоді про асоціацію.

Метою розробки Стратегії екологічної конвергенції є у загальному плані підсилення спроможності України в реалізації завдань, передбачених Угодою про асоціацію з ЄС, шляхом визначення змісту основних заходів (в їх послідовності та взаємозв'язку) з досягненням повної відповідальності національного законодавства вимогам ЄС.

Співробітництво має на меті збереження, захист, поліпшення і відтворення якості навколишнього середовища, захист громадського здоров'я, розсудливе та раціональне використання природних ресурсів та заохочення заходів на міжнародному рівні, спрямованих на вирішення регіональних і глобальних проблем навколишнього середовища, *inter alia*, в тому числі і у сфері генетично модифікованих організмів (сектор 8).

Угодою про асоціацію з ЄС передбачено, що Україна має розробити комплексну стратегію регулювання ГМО, що включатиме також виконання затвердженого графіку наближення законодавства України щодо ГМО до актів законодавства ЄС.

У разі виконання Україною графіку зближення законодавства щодо регулювання ГМО до європейського, що передбачено Угодою про асоціацію, протягом 3-4 років буде побудований механізм біобезпеки задля забезпечення співіснування генетично модифікованих рослин та традиційного і органічного виробництва (фермерства). Це питання є надзвичайно актуальним, адже в Україні досі не зареєстрований жоден ГМО, при тому, що більша частина виробленої сої та частково кукурудзи є ГМО.

Виходячи із проведеного вище аналізу можна зробити наступні висновки:

1. За умови передбаченої прямої заборони на використання незареєстрованого ГМО, положення чинного законодавства, зокрема

Закону, в частині відповідальності мають бути відтерміновані принаймні на кілька років, до завершення усунення прогалин в законодавстві. Для реалізації цього положення необхідно внести зміни до Закону.

2. Також має бути запроваджений перехідний період обігу існуючих в Україні ГМО та ГМ продукції (це стосується насамперед сої, кукурудзи тощо) із визначення відповідних умов обігу, зберігання, експорту та ін. до завершення формування регуляторного середовища з цього питання. Основною метою такого перехідного періоду має стати недопущення подальшого розповсюдження в Україні ГМО. Такий перехідний період може бути затверджений шляхом прийняття окремого закону.

Подальша розробка законодавства щодо регулювання ГМО має відбуватися виключно відповідно до норм ЄС. Це дозволить створити чітку та прозору систему регулювання, яка буде поєднана з основним торговельним партнером України – ЄС. Більш того, в будь-якому разі питання реєстрації ГМО в Україні залежатиме виключно від того, наскільки той чи інший ГМО продукт безпечний для навколишнього середовища.



## ТЕМА 5. ОСНОВНІ ПРАВОВІ ДОКУМЕНТИ ТА ДОМОВЛЕНОСТІ В ГАЛУЗІ БІОБЕЗПЕКИ

1. Суть Картахенського протоколу та Орхуської конвенції.
2. Кодекс Аліментаріус.
3. Загальна декларація про геном людини і права людини ЮНЕСКО.

### 1. Суть Картахенського протоколу та Орхуської конвенції

Картахенський протокол про біобезпеку до Конвенції ООН про біологічне різноманіття є першим міжнародним документом який регулює відносини між країнами у сфері поводження з генетично модифікованими організмами (ГМО), при цьому **констатує можливість відмови від використання ГМО з їх вирогідним негативним впливом на довкілля та здоров'я людини.**

Протокол розроблявся протягом чотирьох років Спеціальною робочою групою міжнародних експертів, зокрема й українських, і був затверджений на Першій екстраординарній Конференції сторін Конвенції про біорізноманіття (м. Монреаль, Канада) у січні 2002 р. Для розроблення механізмів його імплементації був створений Міждержавний комітет по Картахенському протоколу про біобезпеку (МККП).

Представник України також увійшов до складу Бюро МККП. 11 вересня 2003 року Протокол набув чинності після того, як його ратифікували понад 50 країн світу. У лютому 2004 р. у Куала-Лумпур, (Малайзія) відбулася Перша конференція сторін Протоколу.

Україна приєдналася до Картахенського протоколу 12.09.2002 р. Картахенський протокол дозволяє імпорт ЖМО (живі модифіковані організми) за умови доведення їх безпечності.

У Ст. 16 п. 4 зазначається, що до початку запланованого використання ЖМО має пройти достатній період спостереження, який відповідав би його життєвому циклу або тривалості процесу відтворення.

**Мета Протоколу** – сприяти забезпеченню належного рівня захисту у сфері безпечної передачі, обробки та використання живих змінених організмів, отриманих у результаті використання сучасної біотехнології, які можуть мати несприятливий вплив на збереження і стале використання біологічного різноманіття, з урахуванням також ризиків для здоров'я людини.

**Сфера дії Протоколу** поширюється на транскордонне переміщення, транзит, обробку та використання всіх живих змінених організмів, що можуть мати негативний вплив на біорізноманіття і здоров'я. Протокол не вимагає ізоляції товарів, які можуть містити ЖМО.

Протокол не наполягає на дотриманні передбаченої ним процедури попереднього погоджування інформації у випадках, якщо вона істотно порушуватиме перебіг торговельних операцій або ставитиме під загрозу забезпечення права доступу до продуктів харчування безпідставного позитивного впливу на навколишнє середовище.

Протокол не вимагає спеціального маркування продуктів споживання, що містять ГМО. Протокол обмежується лише питаннями дотримання цілісності живих екосистем, які можуть порушуватися ЖМО.

На жаль, за такого способу доведення безпечності ЖЗО не враховується специфіка потенційних ризиків від вивільнення їх у довкілля, не визначаються й не оцінюються ймовірності можливих негативних віддалених наслідків.

На п'ятій Нараді Конференції Сторін, яка виступає як Народа Сторін Картахенського протоколу про біобезпеку до Конвенції про біорізноманіття (11-15 жовтня 2010 року, м. Нагоя, Японія), було прийнято Нагойсько-КуалаЛумпурський додатковий протокол про відповідальність і відшкодування до Картахенського протоколу про біобезпеку.

Веб-сторінка Протоколу: [www.cbd.int](http://www.cbd.int) – інформація про Протокол доступна на веб-сторінці Конвенції про охорону біологічного різноманіття.

**Оргуська чи Оргуська конвенція** – конвенція Європейської Економічної Комісії ООН про доступ до інформації, участь громадськості у процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля. Ця Конвенція отримала назву Оргуська за місцем її підписання (Оргус, Данія, 23-25 червня 1998 року). Вона набрала чинності 30 жовтня 2001 року. **Україна підписала Оргуську конвенцію 25 червня 1998 року**, а Верховна Рада України ратифікувала її 6 липня 1999 року (Закон України від 06.07.1999 № 832).

На початок 2010 року вже 44 країни є Сторонами Конвенції, а саме: Албанія, Австрія, Азербайджан, Білорусь, Бельгія, Боснія і

Герцеговина, Велика Британія, Болгарія, Вірменія, Греція, Грузія, Данія, Естонія, Європейський Союз, Італія, Іспанія, Казахстан, Кіпр, Киргизстан, Латвія, Литва, Люксембург, Македонія, Мальта, Молдова, Нідерланди, Німеччина, Норвегія, Польща, Португалія, Румунія, Сербія, Словаччина, Словенія, Чехія, Чорногорія, Таджикистан, Туркменістан, Угорщина, Україна, Фінляндія, Франція, Хорватія, Швеція.

Орхуська Конвенція була прийнята з метою сприяння захисту права кожної людини нинішнього і прийдешніх поколінь жити в навколишньому середовищі, сприятливому для її здоров'я та добробуту, кожна із Сторін гарантує права на доступ до інформації, на участь громадськості в процесі прийняття рішень і на доступ до правосуддя з питань, що стосуються навколишнього середовища, відповідно до положень зазначеної Конвенції.

## 2. Кодекс Аліментаріус

**Кодекс Аліментаріус (Codex Alimentarius)** – збірник міжнародно схвалених і поданих в однаковому вигляді стандартів на харчові продукти, розроблених під керівництвом FAO/WHO, спрямованих на захист здоров'я споживачів і гарантування чесної практики в торгівлі ними. Підготовлений та виданий Комісією Кодексу Аліментаріус.

**Комісія Кодексу Аліментаріус** (англ. Codex Alimentarius Commission) була створена в 1963 р. Продовольчою та Сільськогосподарською Організацією ООН (ФАО) і Всесвітньою Організацією Охорони здоров'я (ВООЗ) як їхній допоміжний орган для впровадження спільної ФАО/ВООЗ програми стандартів на продукти харчування.

Згідно уставу Комісії: Комісія Кодексу Аліментаріус відповідає за подання пропозицій генеральним директорам Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН (ФАО) і Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), а генеральні директори ФАО і ВООЗ проводять з нею консультації з усіх питань, що стосуються реалізації Об'єднаної програми ФАО/ВООЗ по стандартам на харчові продукти, метою якої є:

а) охорона здоров'я споживачів і забезпечення сумлінності в торгівлі харчовими продуктами;

б) сприяння координації всієї роботи над стандартами на харчові продукти, що проводиться міжнародними урядовими та неурядовими

організаціями;

в) визначення пріоритетів та ініціювання робіт з підготовки проектів стандартів, а також керівництво цими роботами через відповідні організації

та з їх допомогою;

г) доопрацювання стандартів, розроблених відповідно до п. (в), і їх несення до Кодексу Аліментаріус в якості регіональних, або всесвітніх стандартів разом з міжнародними стандартами, вже доробленими і затвердженими іншими органами в рамках п. (б), якщо це практично можливо;

д) внесення поправок в опубліковані стандарти відповідно до поточної ситуації.

Слідуючи рекомендаціям, зробленим за підсумками оцінки за 2002 рік, Комісія скликає сесії щорічно і проводить їх по черзі то в штаб-квартирі ФАО в Римі, то в штаб-квартирі ВООЗ в Женеві; втім, при необхідності вона може збиратися частіше або проводити спеціальні або позачергові сесії.

**Комітети з загальних питань.** Відповідно до Регламенту Комісія наділена правом засновувати три типи допоміжних органів:

- Комітети Кодексу, в тому числі спеціальні міжурядові робочі групи, які готують проекти стандартів для внесення на розгляд Комісії.

- Координаційні комітети, за допомогою яких регіони або групи країн координують діяльність в області стандартів на харчові продукти в регіоні, включаючи розробку регіональних стандартів.

Комітети з загальних питань, які іноді називають «горизонтальними комітетами», розробляють всеосяжні концепції і принципи, застосовні до харчових продуктів в цілому, до конкретних харчових продуктів або до груп продуктів; стверджують або розглядають відповідні положення в стандартах Кодексу на окремі товари і за порадою експертних наукових органів розробляють програмні рекомендації, що стосуються здоров'я і безпеки споживачів.

Наступні комітети Кодексу вважаються комітетами «із загальних питань», або «горизонтальними комітетами»:

- Комітет з харчових добавок (ССФА).
- Комітет з забруднюючих домішок в харчових продуктах (СССФ).
- Комітет з харчової гігієни (ССФН).
- Комітет з маркування харчових продуктів (ССФЛ).
- Комітет з методів аналізу і відбору проб (ССМАС).

- Комітет з харчування та продуктів для спеціального дієтичного харчування (CCNFSDU).
- Комітет по залишкам пестицидів (CCPR).
- Комітет по залишках ветеринарних препаратів в харчових продуктах (CCRVDF).
- Комітет за загальними принципами (CCGP).
- Комітет по системам контролю та сертифікації імпорту та експорту харчових продуктів (CCFICS).

Ці комітети розробляють стандарти, гранично допустимі концентрації харчових добавок та забруднюючих домішок, технічні норми і правила або інші методичні вказівки загального застосування, а також для особливих випадків, які не потребують розробки повного стандарту на окремий товар. Наприклад, Комітет з харчової гігієни розробив «Гігієнічні норми і правила для прянощів і сушених ароматичних рослин», а Комітет з питань харчових продуктів розробив «Стандарт на гранично допустимі концентрації свинцю в харчових продуктах». Комітет з маркування харчових продуктів і Комітет з харчування та продуктів для спеціального дієтичного харчування спільно підготували «Методичні вказівки Кодексу Аліментаріус, що стосуються заяв про поживність і користь для здоров'я».

### **Комітети по окремих товарах**

Відповідальність за розробку стандартів на окремі харчові продукти або групи харчових продуктів покладено на комітети по окремих товарах. Для того щоб відрізнити їх від «горизонтальних комітетів» і визнати їх виняткове коло ведення, їх часто називають «**вертикальними комітетами**». Для вирішення конкретних завдань, пов'язаних з розробкою нових стандартів, можуть створюватися нові комітети. З 2015 року в Комісії діють такі комітети по товарах:

- Комітет з жирів і олій.
- Комітет з риби і морепродуктів.
- Комітет з свіжих овочів і фруктів.
- Комітет з перероблених овочів і фруктів.
- Комітет з кулінарних трав і спецій.
- Комітет з продуктів з зернобобових.
- Комітет з цукрів.
- Комітет з молока і молочних продуктів.

Робота наступних комітетів по товарах була припинена на невизначений термін, але при необхідності вони можуть працювати за допомогою листування:

- Комітет з какао-продуктів і шоколаду.
- Комітет з гігієни м'ясопереробки.
- Комітет з природних мінеральних водах.
- Комітет з рослинних білків.

Країни базування скликають наради допоміжних органів Комісії з інтервалами в один-два роки, у міру необхідності. На засідання деяких комітетів збирається майже стільки ж учасників, скільки і на пленарні засідання Комісії.

### **Спеціальні міжурядові робочі групи**

У 1999 році Комісія визнала, що її досить негнучка структура комітетів не здатна задовольнити потребу в стандартах і методичних вказівках в постійно розширюється спектр тем. Комісія прийняла рішення створити третій тип допоміжних органів – спеціальну міжурядову робочу групу Кодексу Аліментаріус, яка представляє собою комітет Комісії, що засновується на заданий термін. На сьогоднішній день Комісією були засновані такі спеціальні міжурядові робочі групи:

- Спеціальна робоча група по кормах для тварин, 2000-2004 і 2011-2013 рр.
- Спеціальна робоча група з питань харчових продуктів, отриманим за допомогою біотехнології, 1999-2003 і 2005-2008 рр.
- Спеціальна робоча група по овочевих і фруктових соків, 1999-2005 рр.
- Спеціальна робоча група з транспортування та обробці швидкозаморожених харчових продуктів, 2006-2008 рр.
- Спеціальна робоча група по стійкості до протимікробних препаратів, 2006-2011 рр.

### **Регіональні координаційні комітети**

Регіональні координаційні комітети відіграють неоціненну роль, домагаючись того, щоб робота Комісії будувалася з урахуванням регіональних інтересів і турбот країн, що розвиваються. Як правило, ці комітети скликають засідання за участю представників країн регіону кожні два роки. Звіти про засідання представляються на обговорення Комісії. Країна, яка головує в координаційному комітеті, також є регіональним координатором свого регіону.

Існує шість координаційних комітетів – по одному для кожного з наступних регіонів:

- Африка;
- Азія;

- Європа;
- Латинська Америка і Карибський басейн;
- Близній Схід;
- Північна Америка і Південно-Західний Тихоокеанський регіон.

### **Діяльність Кодексу Аліментаріус**

Кодекс регулює всі харчові продукти, як оброблені, так і сирі. Крім стандартів на окремі види продукції, кодекс містить загальні стандарти, що регламентують питання маркування продукції, харчової гігієни, харчових добавок, вмісту пестицидів, і процедури дослідження безпеки харчових продуктів і біотехнологій.

Кодекс публікується на кількох мовах: англійській, французькій, іспанській. Частина стандартів, що входять в кодекс також доступна російською та арабською; деякі стандарти переведені на китайський.

#### **Кодекс регулює:**

- маркування їжі (загальні правила, керівництва за вказівкою харчової цінності, керівництва по оформленню різних заяв);
- харчові добавки (основні стандарти, правила використання, вимоги на хімічні речовини, що вживаються в їжу);
- забруднення їжі (загальні вимоги, граничні рівні забруднення їжі радіонуклідами, альфа- і іншими мікотоксинами та ін.);
- максимальні допустимі рівні пестицидів і ветеринарних препаратів в їжі;
- методики оцінки біотехнологічних ризиків;
- гігієна в харчовому виробництві;
- методи аналізу і вибору зразків.

#### **Специфічні стандарти існують на такі види їжі:**

- м'ясо і його продукти;
- риба і рибопродукти;
- молоко і молочна продукція;
- їжа для спеціальних дієт, включаючи їжу для немовлят і для дітей;
- свіжі і оброблені овочі, фрукти, соки;
- зернові і бобові культури та продукти з них;
- жири, масла, і продукти з них;
- різні харчові продукти (шоколад, цукор, мед, мінеральна вода та ін.).

Кодекс Аліментаріус містить положення щодо гігієни харчових продуктів, харчових добавок, залишків пестицидів, контамінантів, маркування і представлення продуктів, методів аналізу та відбору.

Станом на липень 2018 року до Кодексу Аліментаріус було включено: 221 гармонізований міжнародний стандарт на продовольчі продукти, 78 методичних вказівок. Окрім того, у Кодексі містяться максимально допустимі рівні для 303 харчових добавок, максимально допустимі рівнів залишків для 294 видів пестицидів та максимально допустимі рівні для 75 ветеринарних препаратів.

Тексти Кодексу регулярно оновлюються з метою підтримки актуальності та відповідності сучасному рівню наукових знань.

Кодекс Аліментаріус написаний так, ніби він є обов'язковим для застосування технічних стандартом на безпеку їжі, використання мінералів і ітамінів. Прихильники кодексу заявляють що він є лише добровільним референсним стандартом, і для країн не існує зобов'язань застосовувати кодекс.

Однак Світова організація торгівлі (СОТ) (англ. World Trade Organization, WTO) вважає Кодекс Аліментаріус міжнародним стандартом при вирішенні питань, пов'язаних з харчовою безпекою і захистом споживачів.

Питаннями, пов'язаними із Кодексом Аліментаріус, в Україні займався у 2006-2015 рр. консультативно-дорадчий орган – **Національна комісія України з Кодексу Аліментаріус.**

З 20.09.2015 положення про зазначену комісію втратило чинність у зв'язку із набуттям чинності відповідного Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо харчових продуктів» від 22.07.2014 № 1602-VII.

Основним документом України в області безпеки харчової продукції є закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів», який міститься в новій редакції як частина документу ЗУ «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо харчових продуктів» від 22 липня 2014 року № 1602-VII (Закон про безпечність).

Закон регулює відносини між органами виконавчої влади, операторами ринку харчових продуктів та споживачами харчових продуктів і визначає порядок забезпечення безпечності та окремих показників якості харчових продуктів, що виробляються, перебувають в обігу, ввозяться (пересилаються) на митну територію України та/або вивозяться (пересилаються) з неї.



Центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері безпечності та окремих показників якості харчових продуктів компетентний орган) – Державна служба України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів.

### **3. Загальна декларація про геном людини і права людини ЮНЕСКО**

**Загальна декларація про людський геном і права людини** – міжнародний документ, прийнятий 29-ю сесією Генеральної конференції ЮНЕСКО (англ. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO – Організація Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури) 11.11.1997 року. Покликана забезпечити свободу наук, досліджень у біології, медицині тощо при безумовному дотриманні прав, основ свобод та гідності людини. Містить **7 розділів і 25 статей**.

У розділі «Людська гідність і людський геном» проголошується право на поважання гідності та прав будь-якої людини незалежно від її генетичних особливостей.

**Людський геном** (сукупність усіх генів та міжгенних проміжків молекули ДНК; **геноміка** – галузь науки, що вивчає геноми) у своєму природному стані **не може бути використаний для одержання грошових доходів**.

**Розділ «Права зацікавлених осіб»** зазначає: дослідження, лікування або діагнози у сфері геному певної особи можуть проводитися лише після ретельної попередньої оцінки та згідно з усіма іншими вимогами національного законодавства. В усіх випадках має бути досягнуто вільної і відкритої для оприлюднення згоди зацікавленої особи.

Дослідження без урахування прямої користі для здоров'я може мати місце як виняток і проводитися щонайобережніше, щоб зацікавлена особа наражалася на мінімальний ризик і мінімальні невігоди, а також коли таке дослідження здійснюється задля поліпшення здоров'я інших осіб.

Повинна бути гарантована конфіденційність генетичних даних відповідно до законодавства. Дії, що **принижують людську гідність** (напр., клонування), заборонені (розділ «Дослідження людського геному»).

У розділі «**Умови ведення наукової діяльності**» зазначено, що дослідження повинні здійснюватися вільно; оприлюднення та використання одержаних результатів мають бути предметом особливої уваги з огляду на їх етичні та суспільні аспекти; дослідження не повинні використовуватися для цілей, спрямованих проти миру.

Розділ «**Солідарність і міжнародна співпраця**» передбачає вільний обмін наук, знаннями та інформацією у сфері біології, генетики і медицини.

Положення декларації повинні впроваджуватися через освіту і ЗМІ, має проводитися відкрита дискусія релігійного та філософського характеру, підкреслюється у розділі «**Сприяння принципам декларації**». У розділі «**Застосування декларації**» наголошується: жодне положення документа не може бути витлумачене так, що давало б підстави вести діяльність, яка суперечила б правам людини.

## ТЕМА 6. ЛАБОРАТОРНА БІОБЕЗПЕКА

1. Основні запобіжні заходи з лабораторної біологічної безпеки.
2. Ризики для персоналу, які виникають при роботі в лабораторії.
3. Рівні біобезпеки лабораторій.

### 1. Основні запобіжні заходи з лабораторної біологічної безпеки

За визначенням ВООЗ, *лабораторна біобезпека* описує принципи ізолювання, технології і методи, що використовуються для запобігання ненавмисного впливу патогенів і токсинів, або їх випадкового розповсюдження.

Зазвичай, говорячи про лабораторну біобезпеку, мають на увазі переважно клінічні та діагностичні лабораторії медичних закладів, персонал яких вимушений контактувати із різними видами біологічного матеріалу, що несе ризик випадкового зараження збудниками інфекційних захворювань. Проте, дотримання основних норм і правил біологічної безпеки і біологічного захисту є конче необхідним також у всіх інших лабораторіях (навчальних, наукових, виробничих тощо), де проводять роботи з біологічним матеріалом, такі як: аналіз біологічних зразків, епідеміологічні та наукові дослідження, діагностика захворювань, розробка лікарських чи ветеринарних препаратів тощо.

Одним з головних пріоритетів навчальних і науково-дослідних лабораторій біологічного профілю має стати неухильне дотримання норм і правил біобезпеки і біозахисту. **У всіх без винятку біологічних лабораторіях існують більші чи менші ризики біологічної небезпеки!**

Під час проведення багатьох видів лабораторних робіт можливе інфікування працівників лабораторії, а також осіб, що контактують з їхнім персоналом.

Неправильне поводження з об'єктом дослідження, недостатність застережних, ізоляційних і захисних заходів у таких лабораторіях, крім внутрішніх біобезпечових загроз, може водночас створювати біологічну небезпеку для довкілля.

Заходи щодо попередження біологічних ризиків негативного впливу патогенів, токсинів, або їх випадкового розповсюдження в лабораторних умовах описує лабораторна біобезпека. Дотримання її відповідних принципів і практик знижує ризик випадкового інфікування, втрати, крадіжки або використання не за призначенням

небезпечного біологічного матеріалу, або неналежного поводження з ним.

Основними елементами лабораторного біологічного захисту є:

- **захист проби** – ізоляція і уникнення розповсюдження за межами лабораторії біологічного матеріалу з яким проводиться дослідження;

- **захист персоналу** – уникнення інфікування працівників при проведенні лабораторних робіт;

- **захист довкілля** – запобігання потраплянню у навколишнє середовище біологічного матеріалу, який несе загрозу здоров'ю людей і тварин та впливає на біорізноманіття.

Заходи з біологічного захисту є складовою частиною правил безпечної роботи в біологічній лабораторії, які повинні бути представлені стандартними і спеціальними процедурами, що включають:

– запобіжні заходи з біобезпеки загального характеру;

– процедури з біобезпеки, специфічні для даної лабораторії.

**Основні запобіжні заходи з лабораторної біологічної безпеки загального характеру:**

– доступ до лабораторії обмежується на підставі рішення завідувача лабораторії в той час, коли проводяться експерименти або робота з мікробіологічними культурами, або біологічно небезпечними зразками;

– персонал лабораторії зобов'язаний здійснювати дезинфікаційну обробку рук після роботи з біологічним матеріалом, після зняття захисних рукавиць, перед виходом з приміщення лабораторії;

– у робочій зоні лабораторії забороняється вживати їжу, палити, знімати або одягати контактні лінзи, наносити косметику і зберігати продукти харчування. Співробітники, які носять контактні лінзи, повинні користуватися запобіжними щитками або захисними екранами. Харчові продукти повинні зберігатися за межами робочої зони у спеціально відведених і призначених виключно для цієї мети шафах або холодильниках;

– забороняється здійснювати піпетування будь-яких рідин за допомогою рота;

– персонал лабораторії, допущений до роботи має попередньо пройти спеціальний інструктаж і підготовку із біологічної і загальної безпеки;

– деконтамінацію всіх робочих поверхонь необхідно проводити

щонайменше один раз в день, а також щоразу після потрапляння на них біологічного матеріалу;

– перед тим, як викидати відходи будь-яких мікробіологічних культур, що використовувалися у роботі або зберігалися в колекціях, необхідно проводити їх деконтамінацію будь-яким затвердженим способом (в автоклаві, кип'ятінням, із застосуванням дезінфікуючих засобів тощо);

– у разі, якщо біологічний матеріал планується деконтамінувати за межами робочої зони, перед винесенням з лабораторії він повинен бути поміщений у міцний герметичний контейнер, який щільно закривається і придатний для обробки дезінфікуючим розчином. Процедура упакування біологічного матеріалу, який підлягає деконтамінуванню за межами лабораторії, перед винесенням з робочого приміщення проводиться згідно з відповідними затвердженими правилами та інструкціями.

## **2. Ризики для персоналу, які виникають при роботі в лабораторії**

Найпоширеніші ризики для персоналу, які виникають при роботі в лабораторії:

– випадкові критичні ситуації із біологічно-небезпечним матеріалом (ненавмисне проливання, розбризкування, розбризкування через голку шприца, порізи гострими і колючими предметами чи розбитим посудом, укуси і подряпини лабораторних тварин, аспірація піпеткою, інші непередбачувані ситуації);

– розбризкування біонебезпечного матеріалу при догляді тварин, або проведенні експериментів із їх використанням;

– контакт із забрудненими клінічними зразками;

– контакт з відпрацьованим матеріалом та використаним посудом;

– розтин лабораторних тварин;

– навмисне інфікування;

– виділення шкідливих аерозолів;

– безпосередня робота зі збудником.

Важливою умовою лабораторної біобезпеки є підбір кваліфікованого персоналу, котрий повинен бути компетентний у конкретних медикобіологічних дослідженнях, обізнаний із існуючою і потенційною небезпекою, мати відповідну кваліфікаційну підготовку і вміти застосовувати методи, необхідні для безпечної роботи з біологічним матеріалом, в тому числі – інфекційним. Необхідно

здійснювати регулярні перевірки і тестування співробітників на їх професійну придатність.

Усі медикобіологічні дослідження, що виконуються у біологічних лабораторіях повинні бути попередньо розглянуті та схвалені комісією з біоетики.

Дотримання чіткої методично регламентованої технології робіт та належне використання обладнання у поєднанні з кваліфікованим персоналом є основними компонентами біологічної безпеки та запорукою якісного і ефективного біологічного захисту при проведенні лабораторних досліджень.

Для забезпечення високого рівня лабораторної біологічної безпеки необхідно проводити **систематичний контроль визначених біологічних ризиків**, що має включати:

- загальну оцінку техніки безпеки;
- гігієну праці та стан здоров'я працівників;
- збереження інфекційних патогенів у лабораторії, недопущення їх несанкціонованого винесення за межі лабораторії чи крадіжці, (це також стосується несанкціонованого витоку науково-дослідної інформації та лабораторних даних);

- захист довкілля під час роботи з патогенами, захист персоналу та людей, що живуть чи працюють неподалік лабораторії.

Для кожної країни та регіону важливо мати розроблену свою національну та регіональну класифікацію мікроорганізмів за групами ризиків. При розробленні такої класифікації потрібно звертати увагу на наступні фактори:

- патогенність мікроорганізму;
- найпоширеніший спосіб його перенесення в цій країні/регіоні;
- наявний рівень імунізації населення проти цього патогену;
- локальний рівень протективних заходів гігієни у країні;
- контроль тварин-господарів (резервуарів) та інших переносників захворювань;
- локальну доступність ефективного лікування.

Основним фактором, який є визначальним у системі організації норм і правил біобезпеки та біозахисту є патогенність мікроорганізмів, з якими проводиться робота в лабораторних умовах. За класифікацією ВООЗ груп ризиків патогенів існує чотири типи інфекційних чинників:

- *I група ризику* (відсутня або низька індивідуальна та суспільна небезпека) включає мікроорганізми, що потенційно не є збудниками хвороб людини і тварин;

– *II група ризику* (помірна індивідуальна небезпека та низька суспільна небезпека) включає патогенні мікроорганізми, не схильні до швидкого поширення, які здатні зумовлювати захворювання у людини або тварин, які є легко виліковними або профілактованими;

– *III група ризику* (високий індивідуальний та низький суспільний ризику зараження) включає патогенні агенти, що зумовлюють серйозні захворювання, однак для них існують ефективні профілактичні та лікувальні заходи;

– *група ризику IV* (високі індивідуальний та суспільний ризику зараження) включає патогенні агенти, що зумовлюють масові серйозні захворювання від яких не існує ефективних профілактичних та лікувальних заходів.

### **3. Рівні біобезпеки лабораторій**

Як вже було зазначено, Всесвітньою організацією охорони здоров'я розроблено і запропоновано практичні рекомендації з лабораторної біобезпеки. Цей документ пропонує настанови з використання відповідних методів та обладнання, а також конструктивних особливостей лабораторних приміщень, дотримання яких забезпечує безпечне проведення робіт у лабораторії. Відповідно до цих рекомендації, залежно від рівня ризику, лабораторні приміщення розділяють на **чотири рівні біобезпеки (Biosafety level, BSL)**, кожен з яких складається з первинних та вторинних бар'єрів та враховує особливості мікробіологічних процедур. Перший рівень відповідає найпростішим вимогам тоді як четвертий рівень потребує максимальних заходів безпеки.

Класифікація лабораторій за кожним рівнем біобезпеки проводиться з врахуванням їх призначення, конструкції, обладнання яке застосовується та засобів, практик і оперативних процедур, необхідних для роботи з агентами, що відносяться до різних груп ризику, але без «співставлення» між групами ризику та рівнем біобезпеки лабораторій, призначених для роботи з організмами в кожній групі ризику.

**Перший рівень біологічної безпеки (BSL-1)** - цей рівень є достатнім для робіт, пов'язаних з добре вивченими біологічними агентами, для яких невідомі випадки інфікування здорових дорослих людей і які несуть мінімальну потенційну небезпеку для персоналу лабораторії та довкілля.

Для цього рівня біобезпеки застосовують правила роботи згідно із

загальними нормами техніки безпеки.

Приміщення лабораторії класу BSL-1 не обов'язково має бути ізольованим від інших приміщень.

Роботу можна проводити на звичайному лабораторному столі для стандартних мікробіологічних процедур. Спеціальне захисне обладнання не потрібне та/або не використовується. Персонал лабораторії проходить звичайне навчання з техніки безпеки. Бокси біологічної безпеки при роботі з відповідними штамми мікроорганізмів не обов'язкові.

**Другий рівень біологічної безпеки (BSL-2)** - правила роботи у таких лабораторіях повинні відповідати стандартним вимогам техніки безпеки. Обладнання та приміщення лабораторії мають бути придатні для роботи з широким спектром відомих мікроорганізмів, які належать до групи помірної ризику та можуть спричинити захворювання людини середнього ступеня важкості.

Основні відмінності лабораторії класу BSL-2 від першого рівня біологічної безпеки (BSL-1) полягають у наступному:

- персонал лабораторії класу BSL-2 проходить спеціальне навчання щодо роботи з патогенними мікроорганізмами;
- під час проведення робіт доступ у лабораторію класу BSL-2 обмежений;
- необхідні особливі запобіжні заходи при маніпуляціях, під час яких можуть утворюватися аерозолі та/або бризки. У лабораторії класу BSL-2 рекомендується використання фізичних бар'єрів захисту.

**Третій рівень біологічної безпеки (BSL-3)** - правила роботи у таких лабораторіях повинні відповідати стандартним вимогам техніки безпеки.

Обладнання та приміщення лабораторії мають бути придатні для роботи з місцевими й екзотичними мікроорганізмами, що передаються повітряно-крапельним шляхом і спричиняють важкі захворювання з можливим летальним наслідком. Особливу увагу слід приділяти захисту персоналу (первинний і вторинний бар'єри), а також захисту населення та довкілля. Необхідна вимога: проведення робіт у боксах біологічної безпеки класу I і класу II.

**Четвертий рівень біологічної безпеки 4 (BSL-4)** - правила роботи у таких лабораторіях повинні відповідати стандартним вимогам техніки безпеки. Обладнання та приміщення лабораторії мають бути придатні для роботи з небезпечними й екзотичними штамми мікроорганізмів, що становлять високий ризик для здоров'я



і життя людини.

Інфекції передаються повітряно-крапельним, або невідомими шляхами і не піддаються лікуванню; вакцин і лікарських препаратів від них немає.

Персонал лабораторії проходить спеціальне та ретельне навчання з техніки безпечної роботи з особливо небезпечними мікроорганізмами і перебуває під керівництвом фахівця, що має досвід подібної роботи. Вхід до лабораторії суворо обмежений.

Лабораторія розміщується в окремій будівлі або в повністю ізольованій частині будівлі. Встановлено спеціальні правила проведення робіт у лабораторії. Наявність боксу біологічної безпеки класу III обов'язкова. Мікробіологічні методи та стандартні операційні процедури мають включати застережні заходи, особливо під час небезпечних процедур.

Відповідно до рекомендацій ВООЗ рівень біобезпеки, для проведення відповідних робіт із конкретними штамми, повинен визначатись висновком фахівців на основі наявних відомостей, а не на рекомендаціях біобезпеки, які поширюються на ці роботи на основі таксономічного визначення. Тому, для кожного об'єкту дослідження, відповідно до конкретних вимог, типу лабораторної роботи, місцевих та географічних умов повинна бути підготовлена і розроблена окрема програма лабораторного біозахисту для зниження ідентифікованих біоризиків.

Кожна лабораторія, яка працює з потенційно небезпечним біологічним матеріалом повинна мати розроблену інструкцію з біобезпеки, в якій детально описані всі можливі небезпечні моменти з якими працівники можуть зіткнутися під час проведення робіт. Мають бути чітко обумовлені всі робочі процедури та заходи безпеки, призначені для мінімізації або повного виключення можливого контакту з патогеном. Розроблені заходи лабораторного біозахисту повинні відображати потреби установи (лабораторії) і включати дані від наукових керівників, головних дослідників, відповідальних за біобезпеку, наукових співробітників лабораторії, обслуговуючого персоналу, адміністраторів, спеціалістів з інформаційних технологій, правоохоронних органів і, за необхідності співробітників служби безпеки України.

Керівник робіт несе відповідальність за проведення адекватної оцінки біологічних ризиків. Після того, як оцінка ризиків проведена, вона повинна переглядатися в плановому порядку і коректуватися за

необхідності з урахуванням надходження нових даних, що стосуються ступеня ризику, в т.ч. інформації з наукової літератури з цієї тематики.

Основним документом, що визначає правила і нормативи в області міжнародної біобезпеки та біозахисту є «Практичне керівництво ВООЗ з біологічної безпеки в лабораторних умовах». Зазначений документ регламентує основні принципи безпечної роботи в дослідницьких, діагностичних та виробничих лабораторіях.

Що стосується нормативної документації, то в Україні затверджені Державні санітарні правила (ДСП 9.9.5.-080-02) «Правила влаштування і безпеки роботи в лабораторіях (відділах, відділеннях) мікробіологічного профілю», що регламентують створення безпечних умов роботи, забезпечення індивідуальної та загальної безпеки, запобігання винесенню інфекцій за межі лабораторій, попередження нещасних випадків і професійних захворювань. Вимоги цих правил обов'язкові для виконання усіма організаціями (установами, лабораторіями) на території України, незалежно від відомчої належності та форм власності, що проводять такі види діяльності:

- з біологічно патогенними агентами I-II груп патогенності;
- з біологічно патогенними агентами III-IV груп патогенності;
- діагностичні, експериментальні та виробничі роботи;
- діагностичні роботи з використанням полімеразної ланцюгової реакції;
- діагностичні дослідження холери, ботулізму;
- імунологічні (серологічні) дослідження з метою виявлення в крові людей антигенів мікроорганізмів II групи патогенності та/або антитіл до них;
- експериментальні та виробничі роботи з вакцинами штаму збудників I-II груп патогенності;
- діагностичні, експериментальні роботи з біологічно патогенними агентами IV групи патогенності;
- імунологічні (серологічні) дослідження з метою виявлення в крові людей антигенів мікроорганізмів III групи патогенності та/або антитіл до них;
- дослідження з контролю якості продукції на наявність санітарнопоказових організмів.

**Кодекс практики** – це перелік життєво важливих лабораторних процедур і практик, які служать основою для належної (безпечної) техніки мікробіологічних досліджень (GMT, ТМД).

***Доступ до лабораторних приміщень:***

1. На дверях приміщень, де проводяться роботи з мікроорганізмами ІІІ групи ризику, повинен бути зображений міжнародний знак біологічної небезпеки (рис. 7).



***Рис.7. Міжнародний знак біологічної небезпеки***

2. У робочу зону лабораторії повинні допускатися лише особи, які мають відповідний дозвіл.

3. Двері лабораторії слід тримати зачиненими.

4. У робочих зонах лабораторії неприпустиме перебування дітей.

5. Допуск до віварію дозволяється тільки спеціальному персоналу.

6. Тварини, з якими не проводиться безпосередня робота, у лабораторії знаходитись не повинні.

## ТЕМА 7. БІОЛОГІЧНИЙ ТЕРОРИЗМ ТА ЗАСТОСУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ЗБРОЇ

1. Біологічний тероризм та біологічна зброя.
2. Агротероризм.

### 1. Біологічний тероризм та біологічна зброя

Біологічну та екологічну небезпеку становлять також факти забруднення природних ресурсів (води, ґрунту, атмосфери), зміни природного різноманіття, порушення біологічної рівноваги (створення та використання генетично модифікованих організмів).

До спектра біологічних ризиків входять природні, ненавмисні та навмисні ризики, наприклад, природні захворювання; інфекційні захворювання, які повертаються до циркуляції; ненавмисні наслідки наукових досліджень; лабораторні інциденти; нестача інформації; халатність і т. ін.

Також виділяють поняття **біологічної захищеності** – виключення навмисного чи ненавмисного небезпечного впливу на людей, тварин і рослин від науково-дослідницьких робіт і збудників особливо небезпечних інфекцій, а також попередження використання зі зловмисними намірами досягнень сучасних біотехнологій, у першу чергу, генної інженерії та синтетичної біології, а також генетично модифікованих організмів. Також біозахищеність відноситься і до безпечного зберігання і переміщення, обробки і використання живих змінених організмів, які мають нові комбінації генетичного матеріалу.

Основними джерелами виникнення біологічних загроз є:

- 1) епідемії та спалахи інфекційних захворювань людини;
- 2) епізоотії (висока захворюваність серед тварин);
- 3) епітофітії (розповсюдження інфекційного захворювання рослин на значних територіях);
- 4) аварії на біологічно небезпечних об'єктах;
- 5) природні резервуари патогенних мікроорганізмів;
- 6) транскордонне перенесення патогенних мікроорганізмів, представників флори і фауни, небезпечних для екологічних систем;
- 7) диверсії на біологічно небезпечних об'єктах;
- 8) біологічний тероризм;
- 9) застосування біологічної зброї державою.

Перші шість джерел виникнення біологічної загрози відносяться до ненавмисних, тоді як зазначені у пунктах 7-9 – до навмисних.

Окремо визначається проблема біологічної загрози, пов'язана з біологічним тероризмом та використанням біологічної зброї.

*Природні ризики (інфекційна епідемічна захворюваність та смертність):*

- За даними ВООЗ у світі смертність від інфекційних захворювань в останні роки становить до 14 млн. осіб щорічно.

- Перша пандемія чуми – «чума Юстиніана» (531-580 рр. н. е.) – померло близько 100 млн. людей; охопила всі відомі на той час країни.

- Друга пандемія чуми – «чорна смерть» (1347–1407 рр.) – померло близько 25 млн. людей, що становило чверть тодішнього населення Європи.

- Від пандемії грипу («іспанки») в 1918 році померло до 50 млн. людей.

- За час 7-ї пандемії холери (з 1961 по 2005 р.) на земній кулі зареєстровано понад 5 млн. її випадків, з яких більше 200 тис. закінчилися летально.

- Близько 50 млн. населення планети уражені ВІЛ/СНІД.

- До 300 млн. населення щорічно хворіють на малярію (до 3 млн. помирають).

На думку деяких дослідників людство за свою історію пережило **чотири великі епідемічні хвилі**, викликані збудниками небезпечних інфекцій.

**Перша хвиля** епідемій була зафіксована 5-10 тис. років тому (неоліт, енеоліт), коли людство здійснило перехід від мисливства та збирання рослин у дикій природі до землеробства та скотарства, а також будівництва постійних поселень та створення перших державних утворень.

**Друга хвиля** розпочалась приблизно 2,5 тис. років тому разом із створенням перших імперій (Перська держава Кіра, Афінський союз, держава Олександра Великого, Римська імперія тощо): «чума Фуکیدіда» (430-425 рр. до н. е.), перша пандемія чуми – «чума Юстиніана» (531-589 рр. н. е.); друга пандемія чуми (1344-1354 рр.) – «чорна смерть».

**Третя хвиля** розпочалась близько 500 років тому в епоху Великих географічних відкриттів: занесення збудника жовтої гарячки з Африки в Америку; занесення збудника натуральної віспи до Америки (загинуло 3,5 млн. індіанців); пандемія сифілісу в Європі (XVI ст.); третя пандемія чуми в кінці XIX і на початку XX ст.; пандемії натуральної віспи, скарлатини, висипного тифу, пандемії

холери тощо.

**Четверта хвиля** розпочалась після другої світової війни й триває досі: ліквідація натуральної віспи та успіхи в боротьбі з іншими інфекціями, керованими засобами імунопрофілактики (дифтерія, кашлюк, поліомієліт, кір тощо), початок 7-ї пандемії холери; поява після ліквідації натуральної віспи 40 нових інфекцій; пандемії ВІЛ-інфекції, туберкульозу та малярії.

Окремо визначається проблема біологічної загрози, пов'язана з біологічним тероризмом та використанням біологічної зброї.

**Біотероризм** – застосування небезпечних біологічних агентів для нанесення шкоди життю і здоров'ю людей заради досягнення цілей політичного чи ідеологічного характеру.

**Біологічна зброя** – це спеціальні боєприпаси, прилади із засобами доставки, що споряджені біологічними речовинами.

Під біологічними речовинами розуміють патогенні мікроорганізми (бактерії, рикетсії, гриби, віруси); токсини, що утворюються деякими бактеріями; заражені комахи та комахи-шкідники, а також синтетичні хімічні речовини – гербіциди та дефоліанти.

Біологічна зброя є засобом масового ураження і призначається для ураження людей, свійських та службових тварин, сільськогосподарських тварин і рослин.

Навмисне застосування таких біологічних речовин для ураження чи знищення людей, а також сільськогосподарських тварин і рослин входить у поняття «біологічна війна».

Для ураження людей в якості біологічних засобів найбільш ймовірно використання збудників чуми, сибірки, туляремії, меліюїдозу, бруцельозу, висипного тифу, жовтої гарячки, натуральної віспи, венесуельського енцефаломієліту коней, токсину ботулізму і деяких інших.

#### **Властивості біологічної зброї:**

- відносно легко доступна (природні осередки особливо небезпечних інфекцій існують повсюдно);
- проста у виготовленні (практично у всіх країнах є лабораторії контролю за санітарно-епідемічною обстановкою з необхідним обладнанням);
- будь-яке мікробіологічне виробництво можна переобладнати для вироблення великої кількості мікроорганізмів-збудників);
- відносно проста у зберіганні й транспортуванні.

Найбільші побоювання пов'язані із загрозою застосування терористами **вірусу натуральної віспи**. Віспа забрала найбільше життів в історії людства, убивши загалом біля півмільярда чоловік, – більше, ніж всі війни і інші епідемії разом узяті.

Як один з найдавніших прикладів використання вірусу віспи в якості зброя тероризму, можна привести випадок зараження корінних жителів Америки – індіців натуральною віспою, через інфіковані ковдри хворих людей, які були передані їм на знак дружби білими колоністами в 1763 році.

Пізніше цей прийом неодноразово використовувався британськими солдатами для винищення корінного населення Америки. Тоді всього за декілька років населення континенту скоротилося з 75 мільйонів до 600 тисяч чоловік.

Вірус натуральної віспи вважається найнебезпечнішим агентом через клінічні і епідеміологічні властивості. Для віспи характерний високий відсоток заражень при контакті з хворим і тривалий інкубаційний період, що утрудняє діагностику. Цей вірус може вироблятися у великих кількостях, зберігатися протягом тривалого часу, розповсюджуватися в аерозольному вигляді. Можливість попадання такого агента в руки терористів існує.

Офіційно у світі цей вірус знаходиться тільки в двох місцях: у науковому центрі Атланти, США і в російському Державному науковому центрі вірусології і біотехнології «Вектор», розташованому в селищі Кольцово, проте не можна гарантувати, що окрім цих двох офіційних колекцій штамів віспи, контрольованих ВООЗ, немає у світі інших – підпільних.

Доступність офіційних колекцій для потенційних терористів також не виключається. Крім того, зараз висувають цілком обґрунтовані гіпотези зародження в природі близьких людській віспи і таких же небезпечних інфекцій з вірусів віспи мавп, буйволів, верблюдов або корів. Так, в період з 1996 по 1998 рік у Заїрі було відмічене значне зростання захворюваності серед людей віспою мавп.

Наслідки потрапляння вірусу віспи в руки терористів і застосування його як біологічної зброї можуть бути катастрофічними не тільки для країни, але і для всієї світової спільноти. Прикладом розвитку подій в окремо взятій країні при появі тільки однієї інфікованої людини є спалах віспи в Югославії в 1972 році. До моменту встановлення правильного діагнозу у першого хворого через чотири тижні після початку захворювання було вже інфіковано 150

осіб. Інфекція розповсюдилася по країні, почалося зараження інших людей. Заходи, прийняті урядом і системою охорони здоров'я полягали в проведенні масової вакцинації і карантині. Було вакциновано 20 мільйонів людей. 10000 осіб, що мали контакти з інфікованими, були ізольовані протягом двох і більше тижнів, були закриті межі з сусідніми країнами. Спалах вдалося ліквідувати через 9 тижнів після першого випадку захворювання. Результатом спалаху віспи стало: 175 хворих, 35 смертельних випадків і паніка, що виникла в країні. Слід зазначити, що спалах відбувався в державі, де проводилася масова вакцинація населення проти віспи. На сьогоднішній момент за оцінками фахівців не більше 10-15% населення має імунітет до віспи. На цьому фоні проведення ерористичного акту з використанням вірусу віспи може мати драматичні наслідки.

На другому місці в списку небезпечних агентів стоїть ***Bacillus anthracis***, що викликає **сибірську виразку**. Впродовж сторіч сибірська виразка викликала епідемії серед тварин і людей по всьому світу.

В даний час захворюваність носить спорадичний характер з окремими груповими спалахами. Сибірська виразка зустрічається серед людей і тварин в більшості країн Африки і Азії, в деяких країнах південної Європи, в Америці і окремих областях Австралії.

Дослідження сибірської виразки як можливого біологічного агента почалося близько 80 років тому. Військових біологів завжди привертала такі якості сибірської виразки, як здібність до спороутворення (можна легко зберігати і створювати області довготривалого стійкого зараження), а також те, що уражена людина фактично є кінцевою ланкою інфекції (відсутня небезпека широкої епідемії серед власних солдатів).

Важливим чинником є також легкість розведення цієї бактерії в культурі. Смертність від легеневої форми сибірської виразки досягає 100%. Проте, оскільки ця хвороба піддається лікуванню, то ефект від застосування такої зброї поступається ефекту від застосування інших видів зброї масового ураження – атомної або хімічної. В той же час використання *Bacillus anthracis* терористами може, не викликаючи великої кількості жертв, посіяти страх і паніку серед населення і дестабілізувати суспільне життя.

Наступним в списку небезпечних біологічних агентів категорії А стоїть **збудник чуми *Yersinia pestis***. Протягом двох останніх тисячоліть чума забрала величезну кількість життів під час декількох



пандемій, торкнувшись безлічі країн на більшості континентів. В даний час щорічно в деяких країнах Азії, Африки і Америки виникають спалахи і спорадичні випадки чуми.

І хоча наявність ефективних засобів лікування і профілактики уми знижує небезпеку цієї інфекції для людини, захворюваність у світі залишається на достатньо високому рівні і спалахи, що виникають, можуть створити паніку серед населення. Прикладом є спалах 1994 року в Індії, коли сотні і тисячі людей намагалися покинути місто Сурат, різні країни припинили приймати і відправляти літаки до Індії, був заборонений імпорту індійських товарів. Останній спалах найважчою легеневою формою чуми був зареєстрований в Індії 4 лютого 2002 року, на сході штату Химачал Прадеш.

Одним з перших документально зафіксованих епізодів біотероризму з використанням чуми можна вважати облогу генуезької фортеці Каффу (нині Феодосія) в Криму. Нападаючі акидали у фортецю щурів і залишки трупів людей, померлих від чуми. У результаті Каффа здалася, але звідти чума розповсюдилася по всій Європі разом із втікачами з великого торгового міста, викликавши страшну епідемію. Загальні втрати оцінюються в 25 млн. чоловік, або близько 10% населення миру.

Замикають список агентів категорії А **геморагічні лихоманки**, що викликаються *арена- та філовірусами*. Найбільшу увагу привертають нові інфекції: **лихоманки Марбурга і Эбола**.

Вірус Марбурга був вперше виділений в лабораторії з матеріалів від мавпи. Вірус Эбола був ідентифікований у західній провінції Судану і в прилеглому районі Заїру (зараз Демократична республіка Конго) під час крупних епідемій з летальністю до 90%. Після спалахів було досліджено тисячі проб від місцевих тварин. Проте, спроби знайти природний резервуар вірусу і пояснити природу його виникнення, дотепер залишаються безуспішними.

Останні спалахи хвороби були офіційно зафіксовані у Гвінеї в березні 2014 р., проте останні дослідження свідчать, що перші захворілі з'явилися раніше – ще в грудні 2013 року, просто на той час хвороба не була ідентифікована. З моменту появи перших випадків захворювання, вірус поширився також на територію Ліберії, Сьєрра Леоне та Нігерії, а пізніше поодинокі випадки були зафіксовані у Сенегалі, США, Малі, Іспанії, Великобританії, Італії. Ця епідемія є найбільшою з усіх відомих епідемій цієї хвороби, як за кількістю випадків захворювання, так і за кількістю смертей. 8 серпня

2014 року Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) оголосила епідемію катастрофою міжнародного рівня.

У терористичній атаці біологічна зброя може бути використана шляхом розпилення аерозолю, контамінації тварин, води і продуктів харчування. Об'єктами такої атаки можуть бути будь-які місця, в яких збираються люди: станції метро, залізничні та автобусні станції, аеропорти, торгові центри, місця громадського харчування, спортивні й торговельні об'єкти, будинки відпочинку, ділянки концентрації військ, виборчі дільниці тощо.

Терористів особливо притягують об'єкти, що мають розгалужену систему вентиляції, передусім, станції метро. Повітря на станціях метро, крім вентилявання, зазнає активного переміщення за рахунок руху потягів.

Численні експерименти з непатогенними бактеріями у Лондонському, Паризькому, Московському й Нью-Йоркському метро підтвердили, що в таких умовах навіть невелика кількість патогенів у формі аерозолю блискавично поширюється в межах станції та довкола, що супроводжується інфікуванням десятків тисяч людей. Відтак, у метро американських міст почали встановлювати спеціальні датчики, покликані якомога раніше зафіксувати початок біологічної атаки.

Слід враховувати й те, що атака з використанням біологічної зброї, крім втрат, спричинених її безпосередньою дією, призведе до величезної паніки, масових психозів, деморалізації, а можливо, й до агресивності проти діючої влади. Це супроводжуватиметься й колосальними економічними збитками для держави.

## 2. Агротероризм

Атака з використанням біологічної зброї може бути спрямована не тільки безпосередньо проти людей, але й на інфікування тварин і забруднення сільськогосподарських культур. В сучасних умовах боротьба з тероризмом є актуальним завданням світової спільноти.

Різновидом тероризму є **аграрний тероризм**, що являє собою використання біологічних агентів, бактерій або токсинів для масштабного знищення продовольчих, аграрних, біологічних ресурсів будь-якої країни з метою встановлення зовнішнього тотального контролю над ними, підриву продовольчої незалежності. Таким чином, в сучасних умовах сільське господарство є важливою складовою економічного потенціалу будь-якої країни, тому будь-які цілеспрямовані зовнішні атаки з використанням біологічних агентів

спецслужбами іноземних держав, транснаціональними корпораціями, промислово-фінансовими групами на вітчизняний аграрний сектор можуть призвести до негативних наслідків: масштабних втрат врожаю сільськогосподарських культур, масової загибелі худоби, епідемій та епізоотій, що потенційно може спровокувати підвищення цін на продовольство, дестабілізацію політичної та економічної ситуації в країні, імпортової продовольчої залежності, створення дефіциту продуктів харчування, хімічного, радіоактивного або бактеріологічного зараження продовольства, у тому числі й питної води, масових харчових отруєнь, які можуть стати результатом захворювань та масової гибелі людей.

Вперше проблема забезпечення біологічної безпеки на державному рівні розглянута у Рішенні Ради національної безпеки і оборони України «Про біологічну безпеку» лише у 2009 р.

Констатовано, що в нашій країні відсутні програми з біобезпеки та запобігання проявам біотероризму, не створено національної системи протидії можливим біозагрозам, зокрема, не утворено автоматизованих та інтегрованих банків даних про можливі загрози біологічного та хімічного походження. Неврегульованим залишається питання державної підтримки генетично-інженерних досліджень та наукових розробок у галузі біологічної і генетичної безпеки.

Встановлено, що стан біологічної безпеки не відповідає національним інтересам, не забезпечує ефективну протидію біологічним загрозам.

Таким чином, одним із пріоритетних завдань держави залишається протидія проявам біотероризму, захист населення від безконтрольного та протиправного розповсюдження продукції, що містить ГМО, збереження здорового та безпечного природного середовища.

На жаль, питання аграрного біотероризму вищезазначеним актом жодним чином не регламентовані. Державна цільова програма біобезпеки та біологічного захисту на 2015-2020 рр. мала виключно декларативний характер і була спрямована на забезпечення належного рівня захисту населення, навколишнього природного середовища від небезпечних біологічних агентів (біозагроз), запобігання будь-яким проявам біотероризму.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Білоконь С. В. Основи біоетики та біобезпеки: навчальний посібник. Одеса : Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, 2017. 155 с.
2. Біотехнологія рослин. Практикум / М. Д. Мельничук та ін. Київ : ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2012. 215 с.
3. Біохімія. Практикум / Д. О. Мельничук та ін. Київ, НУБіП України, 2012. 528 с.
4. Биотехнология. Биобезопасность. Биоэтика. под ред. проф. А. П. Ермишина., Минск : Тэхналогія, 2005. 425 с.
5. Загоскина Н. В., Назаренко Л. В., Калашникова Е. А., Живухина Е. А. Биотехнология: теория и практика. Москва: ОНИКС, 2009. 493 с.
6. Ковальова О. М. Генетичномодифіковані організми: ризики, міфи та реальність. *Біоетика та біобезпека: мультидисциплінарні аспекти* : матеріали конференції, Харків, 2017. С. 70-72.
7. Козловська Т. Ф., Новохатько О. В., Никифорова О. О. Нормативне забезпечення біотехнологічних виробництв : Управління якістю та безпека біотехнологічної продукції : навчальний посібник. Кременчук : Видавництво КрНУ, 2017. 146 с.
8. Курило В. І. Забезпечення продовольчої безпеки як принцип державного управління аграрним сектором економіки. *Підприємництво, господарство і право*, 2007. № 7. С. 77-82.
9. Лушпаєв С. О. Правове регулювання відносин із виробництва рослинницької продукції в аспекті продовольчої безпеки України. *Підприємництво, господарство і право*, 2013. № 10. С. 69-72.
10. Мельничук М. Д., Кляченко О. Л., Коломієць Ю. В., Антіпов І. А. Біотехнологія. Київ : ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2013. 350 с.
11. Мельничук М. Д., Кляченко О. Л. Біотехнологія в агросфері : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ, 2014. 247 с.
12. Мельничук М. Д., Кляченко О. Л., Коломієць Ю. В., Антіпов І. А. Біотехнологія. Практикум. Київ, ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2013. 150 с.
13. Пономарьов П. Х., Донцова І. В. Генетично модифікована продовольча сировина і харчові продукти, вироблені з її використанням: навч. пос. Київ: Центр навчальної літератури, 2009. 126 с.
14. Руководство по трансплантации эмбрионов крупного рогатого

скота: / Н. И. Сергеев и др. Дубровицы, 2008. 115 с.

15. Салига Ю. Т., Лучка І. В., Росаловський В. П. Основи біобезпеки для науково-дослідних установ біологічного профілю. Львів: Растр-7, 2017. 218 с.

16. Сельскохозяйственная биотехнология / под ред. Шевелухи В. С. Москва: Высшая школа, 2008. 708 с.

17. Тригуб А. Ю. До питання міжнародно-правового розуміння поняття продовольчої безпеки. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Право»*, 2010. Вип. 156. С. 269-275.

18. Шаран М. М. Застосування комплексу біологічно активних речовин для підвищення приживлення ембріонів у телиць-реципієнтів: Наук.-тех. бюл. Інституту біології тварин УААН і ДНКІ ветпрепаратів та кормових добавок. Львів, 2008. Випуск 9. №4. С.202-208.

19. Шаран М. М. Застосування трансплантації ембріонів у молочному і м'ясному скотарстві : 2009. С. 6-9.

20. Юлевич О. І., Ковтун С. І., Гиль М. І. Біотехнологія : навчальний посібник / за ред. М. І. Гиль. Миколаїв : МДАУ, 2012. 476 с.

**Навчальне видання**

# **БІОБЕЗПЕКА ВИКОРИСТАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЙ:**

---

конспект лекцій для здобувачів вищої освіти СВО  
«Бакалавр» освітньої спеціальності 162 «Біотехнології  
та біоінженерія» денної форми навчання

---

**Патрєва Людмила Семенівна**

**Люта Ірина Миколаївна**

*Відповідальний за випуск: Л.С. Патрєва, І.М. Люта*

---

Формат 60×84 1/16. Ум. друк. арк. 16,2

Тираж \_\_\_\_\_ прим. Зам. № \_\_\_\_\_.

Надруковано у видавничому відділі  
Миколаївського національного аграрного університету  
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.