

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри  
загальної екології, радіобіології  
та безпеки життєдіяльності

\_\_\_\_\_ Алла КЛЕПКО  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему «Екологічні ризики використання генетично модифікованих об'єктів в аграрному виробництві»**

Спеціальність \_\_\_\_\_ 101 «Екологія»

**Гарант освітньої програми**

Доктор педагогічних наук, професор,  
професор кафедри загальної екології,  
радіобіології та безпеки життєдіяльності \_\_\_\_\_ Володимир БОГОЛЮБОВ

**Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи**

доктор біологічних наук, ст. наук. сп.,  
завідувач кафедри загальної екології,  
радіобіології та безпеки життєдіяльності \_\_\_\_\_ Алла КЛЕПКО

**Виконала** \_\_\_\_\_ Єлизавета САСЬКО

**КИЇВ - 2025**

**Національний університет біоресурсів  
і природокористування України**

**Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології  
Кафедра загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності  
Освітній ступінь «Бакалавр»  
Спеціальність 101 «Екологія»**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Алла КЛЕПКО  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ВИПУСКНУ  
БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ  
Сасько Єлизаветі Олександрівні**

**1. Тема роботи** «Екологічні ризики використання генетично модифікованих об'єктів у аграрному виробництві»

**Керівник роботи** доктор біологічних наук, ст. наук, співр. Клепко Алла Володимирівна

**2. Строк подання** студентом роботи 22 травня 2025 року

**3. Вихідні дані до работ:** літературні та статистичні дані, нормативні документи, аналіз інформації.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):**

4.1. Опрацювати наукові джерела щодо інформації про генетично модифіковані організми, узагальнити теоретичні засади функціонування та створення ГМО.

4.2. Проаналізувати чинне законодавство України та міжнародну нормативну базу щодо регулювання обігу, контролю і використання ГМО.

- 4.3. Провести аналіз статистичних матеріалів щодо масштабів використання ГМО у сільському господарстві різних країн.
- 4.4. Узагальнити основні екологічні загрози, пов'язані з використанням генетично модифікованих організмів.

### 5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Клепко А.В.		
2	Клепко А.В.		
3	Клепко А.В.		

### 6. Дата видачі завдання 1 жовтня 2024 року

Студент \_\_\_\_\_ Сасько Є.О.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Клепко А.В.  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Робота виконана на 46 сторінках, містить 3 розділи, 5 рисунків, 6 таблиць, 29 використаних джерел.

Мета роботи – дослідження екологічних ризиків, пов'язаних з використанням генетично модифікованих об'єктів у аграрному виробництві, а також формування пропозицій щодо зменшення негативного впливу на довкілля.

У кваліфікаційній роботі досліджено теоретичні засади, практичні аспекти та екологічні наслідки використання генетично модифікованих організмів (ГМО) в аграрному виробництві.

У **першому розділі** розкрито суть генетично модифікованих організмів, їх типи, технології створення та біологічну основу функціонування. Наведено сучасні методи генної інженерії, включаючи CRISPR-Cas9, та приклади створення трансгенних культур.

У **другому розділі** висвітлено особливості застосування ГМО в сільському господарстві. Оцінено їх переваги (висока врожайність, стійкість до шкідників, покращення якості продукції) та потенційні ризики (генетичне забруднення, вплив на здоров'я людини, біорізноманіття, економічна залежність). Проаналізовано ситуацію в Україні, її законодавче регулювання та порівняння з міжнародною практикою.

У **третьому розділі** проаналізовано основні екологічні загрози, пов'язані з ГМО: вплив на ґрунти, водні екосистеми, біоту, запилювачів, корисних комах, симбіотичні зв'язки та мікробіоту. Розглянуто шляхи поширення трансгенів у довкіллі, законодавчі виклики, а також перспективи використання «їстівних вакцин» і біофармацевтики на основі ГМО.

Робота завершується узагальненням екологічних ризиків, чинників, що їх посилюють, та рекомендаціями для посилення системи екологічного моніторингу, розробки біобезпечного регулювання та адаптації аграрної політики до викликів трансгенного землеробства.

## Зміст

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП .....	8
РОЗДІЛ 1. Генетично модифіковані організми, їх види та вплив на екосистему .....	10
1.1 Генномодифіковані організми .....	10
1.2 Про аграрне виробництво ГМО.....	12
1.3 Законодавча база .....	16
1.4. Порівняння в Україні та за кордоном .....	17
1.5 Міжнародний досвід використання ГМО.....	20
1.6 Розвиток площ Гм-культур світу.....	22
РОЗДІЛ 2. Основні шляхи поширення ГМО у навколишньому середовищі .	28
2.1 Біологічні механізми поширення .....	28
2.2 Вплив ГМО-культур на біорізноманіття (Рослинні та тваринні організми).....	30
2.3 Вплив на ґрунтові екосистеми та мікробіоту.....	31
2.4 Небезпеки для корисних комах (Запалювачів, хижаків, шкідників тощо) .....	34
2.5 Потенсійні ризики для водних екосистем (поверхневих та ґрунтових вод).....	36
РОЗДІЛ 3. Узагальнення екологічних загроз і чинників, що їх посилюють ..	38
3.1 Класифікація основних екологічних загроз, пов'язаних з ГМО .....	38
3.2 Чинники, що посилюють екологічні загрози .....	40
3.3 Пріоритети для екологічної політики та науки.....	41
ВИСНОВКИ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	44

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- ГМО — генетично модифікований організм
- ГМ-рослини — генетично модифіковані рослини
- ДНК — дезоксирибонуклеїнова кислота
- ПАР — Південно-Африканська республіка
- ВООЗ — всесвітня організація охорони здоров'я
- СНД — Співдружність Незалежних Держав
- ЄС — Європейський Союз
- Га — гектари
- Млн — мільйони
- % — відсоток
- АМРА — амінокислота

## Вступ

У двадцятому столітті аграрна сфера активно впроваджує новітні біотехнології, серед яких особливу роль відіграє використання генетично модифікованих організмів (ГМО). Застосування таких технологій дозволяє значно підвищити продуктивність сільськогосподарських культур, зменшити залежність від хімічних засобів захисту рослин та адаптувати вирощування до несприятливих кліматичних умов.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю комплексного аналізу потенційних екологічних загроз, які можуть виникати внаслідок широкого впровадження ГМО у сільському господарстві. Зокрема, це ризики порушення екосистем, скорочення біорізноманіття, розвиток стійких до гербіцидів бур'янів, а також вплив на ґрунтову мікрофлору та запилювачів. Для України, де сфера біотехнологій розвивається, але ще не має досконалої системи контролю та регулювання, ця проблема є особливо актуальною в контексті забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку.

Метою даної дипломної роботи є дослідження екологічних ризиків, пов'язаних з використанням генетично модифікованих об'єктів у аграрному виробництві, а також формування пропозицій щодо зменшення негативного впливу на довкілля.

Для досягнення поставленої мети у роботі визначено такі завдання:

1. проаналізувати наукові підходи до класифікації екологічних ризиків, пов'язаних із ГМО;
2. визначити особливості впровадження ГМО в аграрне виробництво;
3. визначити основні загрози для навколишнього середовища, що виникають внаслідок використання ГМО;
4. проаналізувати міжнародний досвід екологічного контролю та регулювання біотехнологій.

Проведене дослідження дозволить сформуванати науково обґрунтовану позицію щодо доцільності та безпечності використання генетично модифікованих технологій в аграрному секторі та сприятиме розвитку збалансованої екологічної політики.

## РОЗДІЛ 1. ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНІ ОРГАНІЗМИ, ЇХ ВИДИ ТА ВПЛИВ НА ЕКОСИСТЕМУ

### 1.1 Генномодифіковані організми

Поняття ГМ продуктів (ГМО) зазвичай обумовлює рослинні культури, створені за допомогою передових технологій молекулярної біології для споживання людьми чи тваринами. Такі рослини модифікуються в лабораторіях за для підсилення їх бажаних характеристик, як збільшена стійкість до гербіцидів або більша поживна цінність [22].

ГМ - це технологія, яка включає введення ДНК у геном організму. Для отримання ГМ-рослини нова ДНК переноситься в рослинні клітини. Зазвичай клітини потім вирощують у культурі тканин, де вони розвиваються в рослини. Насіння, вироблене цими рослинами, успадкує нову ДНК.

Генетична модифікація рослин передбачає додавання певної ділянки ДНК у геном рослини або створення її стійкості до певної хвороби.

Нова ДНК стає частиною генома ГМ-рослини, який міститиме насіння, вироблене цими рослинами [2].

Перший етап створення ГМ-рослини вимагає перенесення ДНК у клітину рослин. Одним із методів, який використовується для перенесення ДНК, є покриття поверхні невеликих частинок металу відповідним фрагментом ДНК і бомбардування частинками рослинних клітин. Інший спосіб - використання бактерії або вірусу. Існує багато вірусів і бактерій, які переносять свою ДНК у клітину-хазяїна як звичайну частину свого життєвого циклу. Для ГМ-рослин бактерія, яка найчастіше використовується, називається *Agrobacterium tumefaciens*.

Ген переноситься в бактерію, а бактеріальні клітини потім переносять нову ДНК в геном рослинної клітини. Клітини рослин, які успішно засвоїли ДНК, потім вирощують для створення нової рослини. Це можливо тому, що окремі рослинні клітини мають вражаючу здатність створювати цілі рослини.

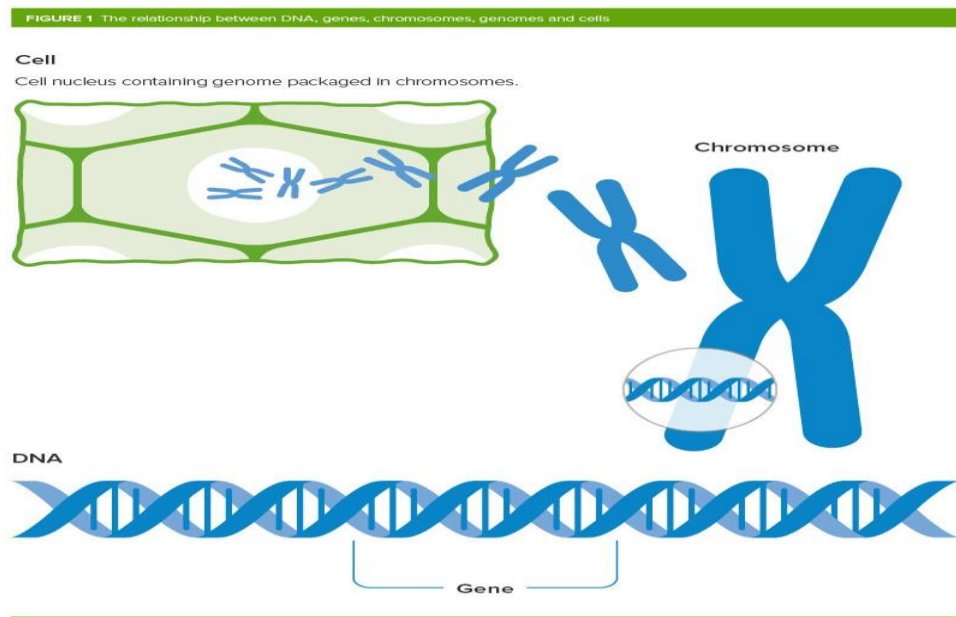


Рисунок 1.1. Співвідношення між ДНК, генами, хромосомами, геномом та клітинами

У рідкісних випадках процес перенесення ДНК може відбуватися без навмисного втручання людини. Наприклад, солодка картопля містить послідовності ДНК, які були перенесення тисячі років тому від бактерій *Agrobacterium* до генома солодкої картоплі.

Існують інші способи змінити геном сільськогосподарських культур, деякі з яких є давно усталеними, як-от мутаційне розведення, а інші є новими, як-от редагування геному [2].

Метод з використанням бактерії *Tumefaciens* (рис. 1.2):

- 1) Бактерія є переносником бажаних генів
- 2) Агробактерія проростає всередині цільової рослини

Метод з використанням пістолету частинок

- 1) Модифіковані гени ДНК, якими вкриті металічні частинки
- 2) Обприскування рослин цими частинками.

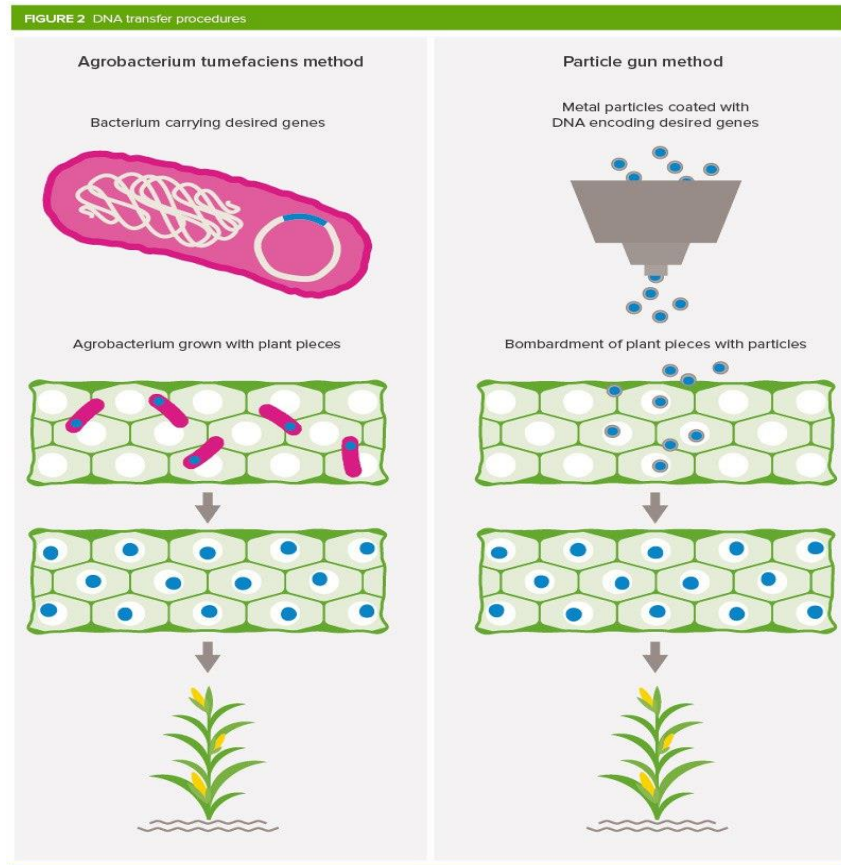


Рисунок 1.2 Процедура переносу ДНК

## 1.2 Про аграрне виробництво ГМО

**Генетично модифіковані організми (ГМО)** в аграрному виробництві - це рослини, тварини або мікроорганізми, генетичний матеріал яких було змінено за допомогою методів генної інженерії. Це робиться для надання їм певних бажаних властивостей, таких як стійкість до шкідників, гербіцидів, несприятливих погодних умов, підвищена врожайність або покращена харчова цінність [1].

Основні аспекти аграрного виробництва ГМО:

### Переваги:

➤ ГМ-культури можуть давати більший врожай на тій самій площі землі.

- Стійкість до гербіцидів, спрощує боротьбу з бур'янами, дозволяючи використовувати менш токсичні гербіциди або застосовувати їх рідше.
- Стійкість до шкідників та хвороб, зменшується потреба у використанні інсектицидів та фунгіцидів, що є економічно вигідним.
- Деякі ГМ-культури можуть бути стійкішими до посухи, засолення ґрунтів або екстремальних температур, що розширює можливості для вирощування в складних кліматичних умовах.
- Покращена харчова цінність, можливість збільшувати вміст вітамінів, мінералів або інших корисних речовин у продуктах.
- Зниження витрат, завдяки зменшенню використання засобів захисту рослин та підвищеній врожайності може знижуватись собівартість продукції [3].

#### **Ризики та застереження:**

Вплив на біорізноманіття: Існує побоювання щодо можливого негативного впливу на нецільові організми (наприклад, комах-запилювачів) та зменшення видового різноманіття.

Генетичне забруднення: Передача генів від ГМ-рослин до диких родичів може призвести до появи "супербур'янів", стійких до гербіцидів.

Вплив на здоров'я людини: Хоча більшість наукових досліджень не виявили значного негативного впливу ГМО на здоров'я, це питання залишається предметом дискусій та подальших досліджень.

Економічна залежність: Фермери можуть потрапити в залежність від компаній, що виробляють ГМ-насіння.

Етичні питання: Існують етичні дискусії щодо втручання в генетичну структуру організмів.

#### **Ситуація в Україні:**

Офіційно промислове вирощування ГМ-культур в Україні заборонено до їх державної реєстрації. Проте, за оцінками експертів, значна частка сої, що

вирощується в Україні, є генетично модифікованою і вирощується без належного контролю.

Українське законодавство регулює обіг ГМО та продукції, виробленої з їх використанням, зокрема, щодо державної реєстрації та маркування.

У серпні 2023 року Верховна Рада ухвалила закон, спрямований на гармонізацію українського законодавства з європейським у сфері ГМО, зокрема посилено вимоги до маркування та контролю.

Заборонено використання ГМ-сировини для виробництва продуктів дитячого харчування.

### **Регулювання:**

В Україні діє Закон "Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні генетично модифікованих організмів".

Промислове виробництво та введення в обіг ГМО та продукції з їх використанням дозволено лише після державної реєстрації. Існують вимоги до маркування харчових продуктів, що містять ГМО.

Важливо зазначити, що питання щодо безпечності та доцільності використання ГМО в аграрному виробництві залишається складним і викликає багато дискусій серед науковців, політиків та громадськості.

В Україні заборонено вирощувати генетично-модифіковану сировину з метою продажу до моменту внесення такої сировини в держреєстр. Разом з тим немає жодного зареєстрованого сорту ГМ-культури, оскільки діє Закон України "Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні генетично модифікованих організмів" № 1103-5. Однак на практиці українські аграрії продовжують засівати свої поля ГМ-культурами, особливо стійкими до гербіцидів - соєю та ріпаком. Разом з тим українське законодавство не забороняє виводити генетично модифіковані культури, але є нюанси. Зокрема, закон про ГМО дозволяє селекцію ГМ-культур у разі, якщо розробки в цьому напрямку мають науковий інтерес і проводяться на базі лабораторій дослідних інститутів НАНУ [4].

## Вміст ГМО в продуктах, що вносяться до держреєстру

Правила поводження з ГМО в галузі сільськогосподарського виробництва встановлені низкою правових актів. Перші з них - Картахенський протокол про біобезпеку та Конвенція про біологічне різноманіття, до яких Україна приєдналася в 2012 році. Ці документи вводять загальні правила для всіх країн-учасників щодо обігу і вивільнення ГМО в навколишнє середовище. Наслідком домовленостей, досягнутих країнами-членами Конвенції і Протоколу, стало прийняття в 2007 році закону України "Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні генетичномодифікованих організмів". Даний нормативний акт є основним документом, який визначає вимоги щодо використання, вивільнення у навколишнє середовище та транскордонного переміщення генетично модифікованих організмів. Закон формує основні принципи та завдання державної політики у сфері поводження з ГМ-продуктами. Одним із головних принципів є пріоритентність збереження здоров'я людини та охорони навколишнього природного середовища порівнянно з отриманням економічних переваг від застосування ГМО [4].

Таблиця 1.1

### Групи об'єктів що вносяться та не вносяться до реєстру ГМО

Вноситься до реєстрів ГМО	Не Вноситься до реєстрів ГМО
Сорти сільськогосподарських рослин і породи тварин, створені на основі ГМО ГМО-джерела кормів ГМО-джерела харчових продуктів	Кормові добавки Ветеринарні препарати Засоби захисту рослин Косметичні засоби Медикаменти, тощо

### 1.3 Законодавча база

#### Відповідальність за порушення законів про ГМО

У системі відповідальності за незаконне вирощування і збут ГМ-культур є три складові: законодавча база, державний контроль за дотриманням цієї законодавчої бази і судова практика. Що стосується судової практики, то в Україні вона ще не склалася. На відміну від США, наприклад. Там виробник зважить всі всі ризики, перш ніж прийме рішення працювати з ГМО, адже судова тяганина може затягнутися на багато років і коштуватиме мільйони, а то і мільярди, які могли б лягти в розвиток виробництва.

В Україні заборона на виробництво і переробку Гм-культур відносна. За чинними законами, Держпродспоживслужба може відвідати виробника з плановою і позаплановою перевітками для проведення аналізу вирощуваних сортів. Про планову перевірку, контролер зобов'язаний попередити виробника заздалегідь, для позапланової - достатньо скарги приватної особи. Важливий момент – особи, які перевіряють, мають мати офіційний дозвіл на зрізання листа культури, адже це - приватна власність. Але навіть якщо за результатами аналізу в листі буде виявлено трансгени, перевіряюча інстанція може лише зафіксувати порушення і передати справу далі до правоохоронних органів.

Міністерство аграрної політики та продовольства України представило у Верховній Раді 07 жовтня 2022 року проєкт Закону України "Про державне регулювання генетично-інженерної діяльності та державний контроль за обігом генетично модифікованих організмів і генетично модифікованої продукції для забезпечення продовольчої безпеки".

Він передбачає системний та комплексний перегляд існуючого державного регулювання у сфері поводження з ГМО, забезпечення продовольчої безпеки держави шляхом здійснення державного нагляду (контролю) за використанням генетично модифікованих організмів і обігом генетично модифікованої продукції, а також гармонізації законодавства

України із законодавством Європейського Союзу, імплементації відповідних правових актів.

Основні положення проєкту Закону пропонують розмежувати повноваження органів державної влади з метою усунення дублювання функцій у сфері поводження з ГМО; удосконалити системи оцінювання ризиків ГМО щодо можливого впливу на здоров'я людини та навколишнього природного середовища; запровадити європейські механізми державної реєстрації ГМО, удосконалити вимоги до маркування ГМ-продукції, які не дозволять уводити в оману споживача, а також посилити державний контроль у сфері поводження з ГМО та встановити відповідальність за порушення законодавства у цій сфері.

Реалізація законопроєкту матиме позитивний вплив на ринкове середовище, забезпечення прав та інтересів суб'єктів господарювання, громадян і держави, дозволить досягти системної сумісності законодавства України із законодавством ЄС у сфері поводження з ГМО [5].

#### **1.4. Порівняння в Україні та за кордоном**

Поки людство сперечається про користь і шкоду ГМО, нові рослини просуваються планетою семимильними кроками. У 2012 році ГМ-рослини на площі понад 170 млн. га вирощували 28 країн. З 1996 року територія таких полів збільшилась приблизно в 100 разів. Ще 31 держава надала дозвіл на їх імпорт і використання як продуктів харчування або кормів. Вартість світового ринку генетично модифікованого посівного матеріалу складала близько 15 мільярдів доларів, а кінцевого продукту - 160 мільярдів. Основні модифіковані культури - соя, кукурудза, бавовна, рапс. Сімнадцять мільйонів фермерів обрали цей новий напрям аграрного сектору, тому що з такими рослинами менше турбот, вони дають швидкий врожай і більші прибутки. Генетично модифікованих організмів (ГМО) в Україні офіційно не має. У нас не зареєстрована жодна генетична модифікація. Їх не можна ввозити та вирощувати, а наукові дослідження дозволено робити тільки в пробірці. Але

навряд чи всі 1,5 мільйони га посівів сої в Україні не мають ГМ-складові. Цей компонент може міститися в сировині, яку постачають у нашу країну з-за кордону. В Україні зміщено два поняття: безпеки генетично модифікованих продуктів і права споживачів на доступну інформацію про її склад.

Людина має право знати, що вона споживає і свідомо робити свій вибір. Якщо безпека 111 продукту під сумнівом, його взагалі не повинно бути на ринку. Для нашої країни найбільш імовірні ГМ-культури - це соя, рапс, кукурудза. Закон України "Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні і використанні генетично модифікованих організмів" є досить "нейтральними". Він регламентує обіг ГМО, не підтримує й не забороняє їх.

Країни, що розвиваються - Китай, Індія, Аргентина, ПАР, Бразилія - стали лідерами у використанні біокультур. І це стимулює їх застосування у всьому світі. На зміну рослинам першого покоління, стійким до гербіцидів, шкідників і бур'янів, приходить друге, де акцент зроблений на поліпшенні споживчих якостей. В перспективі поява "золотого рису", що буде збагачений вітамінами, засухостійкої кукурудзи. За даними ВООЗ "Гм-продукти, доступні на міжнародному ринку, пройшли оцінку ризиків для здоров'я людини. Результати не свідчать про будьяку загрозу". Але безпека ГМ-рослин зазвичай зводиться до відсутності алергенів, токсичних речовин і деяких інших компонентів. Але за даними медичних джерел - про віддалені результати використання трансгенної продукції можна говорити не раніше ніж за 50 років. За статистикою, близько 20% молодих сімейних пар в Україні не можуть мати дітей. І це тісно пов'язано з вживанням продуктів із ГМО, які можуть призводити до безпліддя. Альянс СНД "За біобезпеку" вважає, що держави повинні регулярно виділяти кошти на дослідження впливу ГМО на ссавців та людей.

Експерименти на лабораторних тваринах проводили вчені різних країн, і практично всі одержали негативний результат. Деякі вчені України на користь трансгенних рослин наводять аргументи, що через 20-30 років

нинішніх рекордних урожаїв буде недостатньо. Якщо ми прагнемо нагодувати інші країни, то сільгосппродукції знадобиться в кілька разів більше. В умовах кліматичних змін гарні шанси на виживання у ГМ-культур. Якщо українські фермери звернуться до сучасних біотехнологій, то в перший рік їх використання досягнуть збільшення рентабельності своїх господарств більше ніж на 4 млрд. грн [28].

Станом на 2025 рік, Україна перебуває на етапі реформування законодавства у сфері генетично модифікованих організмів (ГМО). З прийняттям Закону України №3339-IX від 23 серпня 2023 року "Про державне регулювання генетично-інженерної діяльності та державний контроль за розміщенням на ринку генетично модифікованих організмів і продукції" передбачено створення чітких та прозорих правил для підприємств, які хочуть вирощувати чи закуповувати агропродукцію з вмістом ГМО. Цей закон набуде чинності з 16 вересня 2026 року [23].

Закон передбачає заборону на дослідження та випробування генетично модифікованої кукурудзи у відкритій системі, її державну реєстрацію, розміщення на ринку та ввезення на митну територію України, крім ввезення для науководослідних цілей у замкненій системі за наявності відповідного дозволу. Також передбачено заборону на вирощування протягом п'яти років генетично модифікованих цукрових буряків і ріпаку, крім вирощування для проведення досліджень і випробувань у відкритій системі за наявності відповідного дозволу.

Незважаючи на законодавчі обмеження, в Україні спостерігається нелегальне вирощування ГМ-культур, зокрема сої та ріпаку. За різними оцінками, до 70% сої та 30% ріпаку можуть бути генетично модифікованими. Це створює ризики для експорту, оскільки багато країн вимагають підтвердження відсутності ГМО в імпортованій продукції [24].

## 1.5 Міжнародний досвід використання ГМО

У світі використання генетично модифікованих культур є поширеним явищем. Станом на 2022 рік, площі що виділені під вирощування біотехнологічних культур, становили понад 200 млн. га. Це свідчить про те, що використання біотехнологічних культур є найбільш швидко адаптованою сільськогосподарської технологією.

Лідерами у впровадженні ГМО є США, Бразилія, Аргентина, Канада та Індія. У цих країнах генетично модифіковані культури, такі як соя, кукурудза та бавовна, займають значні площі та забезпечують високу врожайність. Використання ГМО дозволяє зменшити витрати на пестициди та гербіциди, також підвищити стійкість рослин до шкідників та несприятливих погодних умов [5].

У Європейському Союзі підхід до ГМО є більш обережним. Хоча деякі країни дозволяють вирощування певних Гм-культур, більшість держав-членів ЄС запровадили суворі обмеження або повну заборону на їх використання. Це пов'язано з побоюваннями щодо потенційного впливу ГМО на здоров'я людини та навколишнє середовище [23]. Потенційна сфера застосування трансгенних рослин надзвичайно широка. Наприклад, створені рослин для очищення навколишнього середовища від різноманітних забруднень, у тому числі важких металів. Методом генетичної інженерії можна змінювати ростові характеристики рослин, створюючи мініатюрні карликові форми декоративних культур. Перші досягнення в галузі генної інженерії рослин досить швидко знайшли застосування у практиці. Перші трансгенні рослини були створені на початку 80-х років, і вже у 1994 році у США було отримано перший дозвіл на генетично модифікований харчовий продукт - помідори "Flavr Savr", а 1995 рік відзначений вихід на ринок трансгенних рослин кукурудзи (Bt-кукурудзи), стійких до комах-шкідників. Площі, які займали перші комерційні сорти генетично модифікованих рослин у 1996 році становили 1,7 млн. га. 30-річний період комерціалізації трансгенних сортів рослин

відзначається постійним неухильним ростом площ та великомасштабним виходом нових сортів, створених на основі генетично модифікованих рослин. У 2022 році площі, що виділені під вирощування ГМ-культур становили понад 200 млн. га. Це свідчить про те, що використання генно модифікованих культур є найбільш швидко адаптованою сільськогосподарською технологією. До 2012 року близько 17 млн. фермерів у 28 країнах розміщують трансгенні рослини на своїх полях. Всього ГМ-культури вирощуються у 28 країнах, а в 31 країні дозволено їх ввезення, тобто 59 країнах світу генетично модифіковані культури використовуються для економічних цілей. Трансгенні рослини - біопродуценти фармацевтично цінних білків ветеринарного і медичного призначення (біофармінг). Для медичних цілей рослини використовуються людством вже багато тисяч років. Однак лише на рубежі ХХ-ХХІ ст. за допомогою методів генетичної інженерії стало можливим створювати нові типи рослин, в тканинах яких синтезуються і накопичуються білки з різних гетерологічних систем, які використовуються в медицині та фармакології.

На цей час створені трансгенні рослини, в ядерний та хлоропластний геноми яких пренесено гени, що контролюють синтез рекомбінативних білків, важливих у терапії різних захворювань. Генетично модифіковані рослини можуть служити дешевшим джерелом рекомбінативних білків у порівнянні з традиційними системами на основі бактерій, дріжджів, культур клітин комах та ссавців. Заслужує на увагу застосування трансгенних рослин для синтезу білків медичного призначення, які могли б бути використані як "їстівні вакцини".

Принципи формування імунної відповіді при використанні "їстівних" вакцин заснований на здатності перитонеальних макрофагів тонкого шлунку ссавців. У шлунку чужорідний білок, що має антигенні властивості, розпізнається спеціальними М-клітинами, які широко представлені в товщі слизового епітелію. М-клітини транспортують захоплений антиген до перитонеальних макрофагів та В-лімфоцитів, що містяться в лімфоїдних утвореннях тонкого кишечника [6].

## 1.6 Розвиток площ ГМ-культур світу

Генетично модифіковані (ГМ) сорти кукурудзи, сої та бавовни були введені в Сполучених Штатах у 1996 році і швидко стали домінуючим вибором насіння серед фермерів. Пізніше ГМ-сорти широко використовувалися для ріпаку та цукрових буряків. У 2020 році (найбільше останній рік, для якого є доступні дані) приблизно 55 відсотків загальної площі оброблених сільськогосподарських угідь у Сполучених Штатах було вирощено з сортами, що мають принаймні одну ГМ-ознаку. Найпоширенішими ГМ-ознаками є стійкість до гербіцидів і стійкість до комах. Приватні насінневі компанії є лідерами у розробці ГМ-ознак - це зміщення від державних установ, стимульоване судовими рішеннями, які забезпечили захист інтелектуальної власності в генетиці сільськогосподарських культур та інших біологічних винаходах.

Таблиця 1.2.

### Розвиток площ ГМО-культур світу

Рік	Площа (га, мл)	% змін
2014	179,4	5,3
2015	176,8	-1,4
2016	180,2	1,9
2017	186,9	3,7
2018	186,9	0,0
2019	186,4	-0,2
2020	189,1	1,4
2021	196,2	3,8
2022	202,9	3,4
2023	205,8	1,4
2024	209,8	1,9

Таблиця 1.3.

## Лідери країни по площі вирощення ГМ-культур за 2024 рік

№	Країна	Площа (га,мл)	Зміна,% (відносно 2023 року)	Розподіл, % (територій)
1	США	75,4	1,3	35,9
2	Бразилія	67,9	1,4	32,4
3	Аргентина	23,8	8,3	11,4
4	Канада	11,7	-0,4	5,6
5	Індія	11,2	-7,1	5,3
6	Парагвай	4,4	2,1	2,1
7	Китай	3,5	17,9	1,7
8	ПАР	3,5	-0,5	1,7
9	Пакистан	1,9	-16,7	0,9
10	Болівія	1,8	1,4	0,9
-	Інші	4,8	22,4	2,3
-	Всього	209,8	1,9	100,0

Досягнення в біотехнології забезпечили нові способи поліпшення культур, дозволяючи переносити гени з конкретними, успадкованими ознаками на віддалені сорти культур. Використання Гм-насіння також набирає популярності в люцерні, картоплі, папаї, гарбузах та яблуках [25].

У 2024 році глобальна площа ГМ-культур збільшилася на 1,9% порівняно з попереднім роком і досягла 209,8 мільйонів гектарів, що є новим рекордом. У 27 країнах вирощували 10 різних ГМ-культур, серед яких найбільше посівів сої - 105,1 мільйона гектарів. У 2024 році кількість генетично модифікованих культур, що вирощуються, зменшилася на одну, оскільки влада Філіппін скасувала дозвіл на вирощування Золотого рису. Після сої ГМ-культурами, які вирощують найбільше, є кукурудза (68,4 млн. га) і бавовник (24,8 млн. га) [7].

На регіональному рівні Північна Америка посідає другу за величиною площу посівів ГМО після Центральної та Південної Америки, із загальною площею 87,0 мільйонів гектарів, засіяних у 2024 році, що на 1,1% більше, ніж у 2023 році. До 2019 року Північна Америка була провідним регіоном за площею посівів ГМО, проте поєднання суворих погодних умов, що вплинули на посіви в США та Канаді у 2019 році, та постійного збільшення посівних площ Бразилії призвело до втрати Північною Америкою своїх лідируючих позицій. США є найбільшою площею посівів ГМО у Північній Америці, з площею оброблюваних культур у 6,5 раза більшою, ніж у Канаді. У Північній Америці кукурудза є найважливішою ГМО-культурою, причому США зазвичай є провідним світовим експортером зібраної кукурудзи, хоча Бразилія зараз оскаржує цей титул [8].

Таблиця 1.4.

## Площа посівів ГМ-культури у Північній Америці за 2024 рік

Північна Америка ГМ культури площа посівів за 2024 рік			
Країна	ГМ площа (м. га)	Зміни у %	Розподіл %
США	75.4	1.3	86.6
Канада	11.7	-0.4	13.4
Загально	87.0	1.1	100

На регіональному рівні Центральна та Південна Америка має найбільшу площу посівів ГМ-культур - 99,7 млн. гектарів у 2024 році. Посадки зросли на 3,5% порівняно з попереднім роком, що зумовлено збільшенням у семи з дев'яти країн, причому найбільшим було збільшення площі на 8,3% в Аргентині, що за обсягом склало 1,8 млн. гектарів. Центральна та Південна Америка обігнала Північну Америку як найбільшого культиватора ГМ-культур у 2019 році, частково завдяки еволюції площі ГМ-культур у Бразилії. Бразилія швидко розширила свої площі посівів ГМ-культур і зараз становить 68,1% площі ГМ-культур регіону. Після Бразилії, Аргентина є наступною

провідною країною в регіоні, займаючи 23,9% площі посівів ГМ-культур. Після Бразилії та Аргентини площа посівів ГМ-культур у решті країн швидко скорочується, а Парагвай, що посідає третє місце, представляє лише 4,4% площі ГМ-культур регіону. У Центральній та Південній Америці соя є домінуючою культурою, що становить 68,9% площі ГМ-посівів регіону [8].

Таблиця 1.5.

Площа вирощування ГМ-культур в Центральній і  
Південній Америці за 2024р.

Площа вирощування ГМО-культур в Центральній і Південній Америці за 2024			
Країни	ГМ площа (м. га)	Зміни %	Розподіл %
Бразилія	67.9	1.4	68.1
Аргентина	23.8	8.3	23.9
Парагвай	4.4	2.1	4.4
Болівія	1.8	1.4	1.8
Уругвай	1.5	49.8	1.5
Колумбія	0.2	1.8	0.2
Гондурас	0.1	21.8	0.1
Чилі	0.0	-16.2	0.0
Мексика	0.0	-7.6	0.0
Загальна	99.7	3.5	100.0

У 2024 році площа посівів ГМ-культур у світі зросла на 1,9% порівняно з попереднім роком і досягла 209,8 мільйона гектарів, що є новим рекордом. 27 країн вирощували 10 різних ГМ-культур, причому соя була найбільш поширеною - 105,1 мільйона гектарів. Кількість вирощуваних ГМ-культур скоротилася на одну у 2024 році, оскільки влада Філіпін скасувала дозвіл на

вирощування "золотого рису". Після сої найпоширенішими ГМ-культурами є кукурудза - 68,4 мільйона гектарів, та бавовна - 24,8 мільйона гектарів.

Кількість країн, що вирощують ГМ-культури, змінювалася з моменту першого впровадження ГМ-сортів у 1996 році, частково через те, що кілька європейських країн припинили вирощування ГМ-кукурудзи, а також через припинення вирощування ГМ-бавовни в Буркінв-Фасо. 27 країн вирощують ГМ-культури з 2020 року, цього ж показника було досягнуто і у 2015 році.

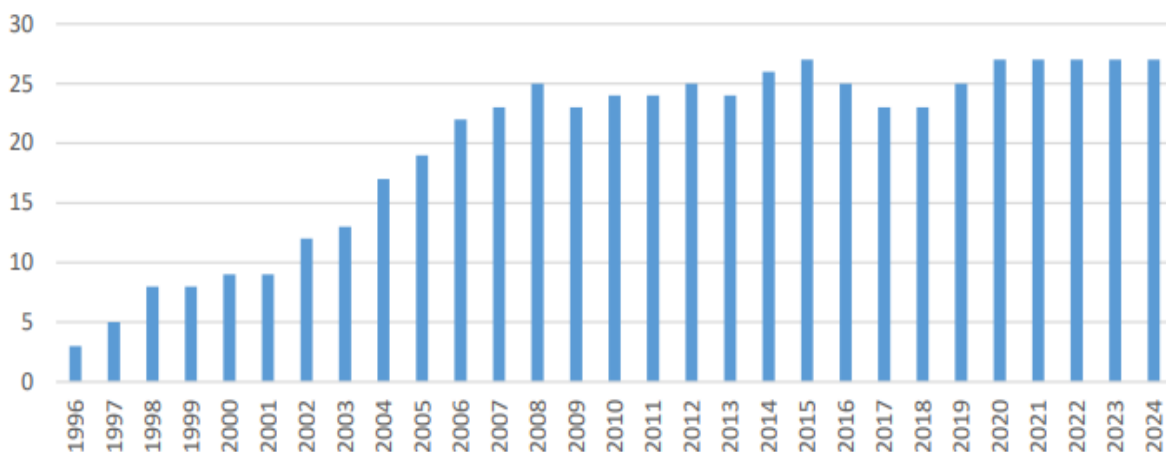


Рисунок 1.3. Кількість країн, що вирощують ГМ-культури, за роками

На карті нижче показано зміну площі у 2024 році на рівні країни порівняно з попереднім роком.

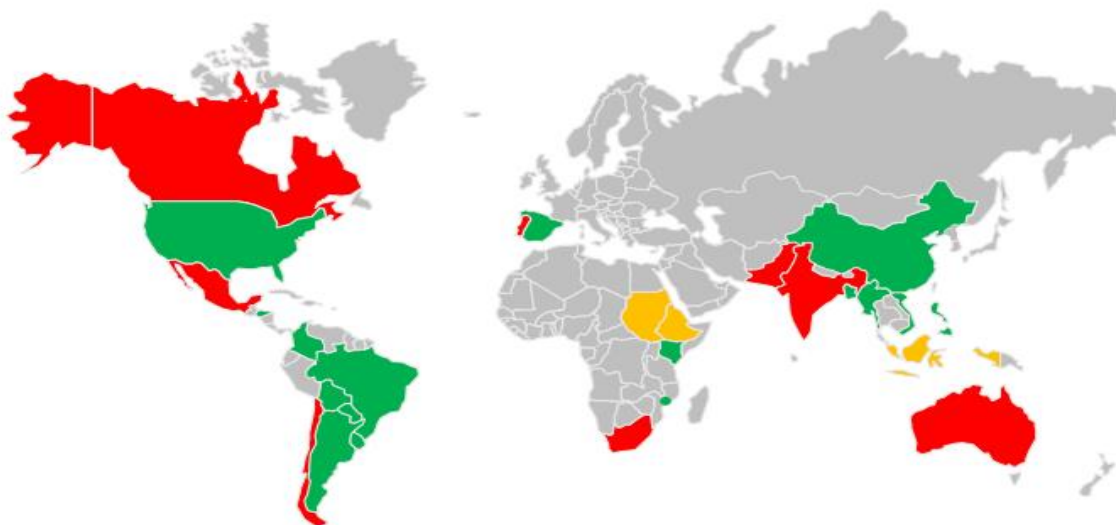


Рисунок 1.4. Зміни в площі посівів ГМ-культур у 2024 році

Найбільші зміни площ, за винятком країн, які обробляють менше 100 000 гектарів, спостерігалися у В'єтнамі (+93,2%), Уругваї (+49,8%), Іспанії (+40,3%) та М'янмі (+39,2%), що зумовлено поєднанням більшої загальної посівної площі та вищих темпів впровадження. Найбільше скорочення площі ГМО спостерігалося в Пакистані (-16,7%), Індії (-7,1%), Південній Африці (-0,5%), Канаді (-0,4%) та Австралії (-0,3%) [9].

Таблиця 1.6.

## Глобальне впровадження ГМ-культур

Глобальне впровадження ГМ-культур			
Культура	Площа ГМ (га м.)	Загальна площа (га м)	Частка %
Бавовна	24,2	30,9	78,4
Соя	105,1	140,5	74,9
Кукурудза	68,4	202,9	33,7
Ріпак	10,4	42,9	24,3
Цукровий буряк	0,5	4,5	10,3
Люцерна	1,1	35,0	3,2
Цукрова тростина	0,06	27,0	0,23
Брінджал	0,003	1,9	0,15
Пшениця	0,05	222,2	0,02
Всього	209,8	707,8	29,6

## РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ШЛЯХИ ПОШИРЕННЯ ГМО У НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Поширення генетично модифікованих організмів (ГМО) у навколишнє середовище є однією з найактуальніших екологічних проблем сучасної біотехнології. Незважаючи на існування регуляторних норм щодо обмеження трансгенних організмів у природних умовах, низка механізмів, як антропогенного, так і природного походження, сприяють їх неконтрольованому виходу за межі сільськогосподарських угідь. Це створює потенційні ризики для біорізноманіття, агроєкосистем та стабільності природного середовища [10].

### 2.1 Біологічні механізми поширення

Генетичне забруднення через перехресне запилення — один з основних шляхів розповсюдження ГМО. Особливо це стосується відкрито запилюваних рослин, таких як кукурудза або ріпак. Перенесення пилку від трансгенних рослин до споріднених видів може призводити до появи стійких до гербіцидів або комах шкідників популяцій серед диких або нетрансгенних сортів. Дослідження, проведене у США в 2021 році, зафіксувало трансгенне забруднення традиційних сортів кукурудзи на відстанях до 3 км від поля з ГМО-культурами [11].

Втеча ГМО-тварин, зокрема трансгенних риб, з аквакультур, є ще одним джерелом поширення. Наприклад, трансгенні лососі (*Salmo salar*), які мають підвищенні темпи росту, при потраплянні у природні водойми можуть гібридизуватися з дикими популяціями, змінюючи їхню генетику, поведінку та екологічну нішу. Це доведено дослідженням, опублікованим у 2023 році в *Proceedings of the Royal Society B*, де пікреслюється ризик витіснення автохтонних популяцій через конкуренцію за ресурси. Агротехнічні та логістичні фактори [11].

Суттєвий внесок у поширення ГМО здійснюють механічні домішки насіння, які виникають під час збору врожаю, зберігання або транспортування. При потраплянні такого насіння ґрунт на віддалених територіях воно може прорости та поширювати трансгени, навіть без цілеспрямованого висіву. Дослідження у ЄС у 2020 році засвідчили наявність трансгенного ріпаку в портах, де ніколи не вирощували ГМО, але куди вивозилося зерно на експорт (Heinemann et al., 2020).

Також важливим чинником є сівозміна та збереження насіння фермерами, які іноді без належного контролю використовують насіння з попереднього сезону, не усвідомлюючи наявності у ньому трансгенних домішок. Цех характерно для регіонів із низьким рівнем біобезпеки, зокрема в країнах, що розвиваються.

Природні вектори, такі як вітер, вода, птахи, ссавці, також можуть переносити насіння або вегетативні частини трансгенних рослин. Зокрема, легке насіння ріпаку може переміщуватись на значні відстані за допомогою повітряних потоків або транспортом [12]. У дослідженнях, проведених у Японії, встановлено, що насіння ГМО-ріпаку, випадково розсипане з транспорту, проростає обабіч залізничних колій і автошляхів, формуючи локальні популяції [13].

Особливо небезпечним є неконтрольоване знищення або повторне використання рослинних залишків трансгенних культур. Органічні залишки можуть містити ДНК трансгенів, яка за певних умов здатна трансформувати мікроорганізми ґрунту або потрапляти в ланцюги харчування.

Також через відходи біотехнологічного виробництва можливе потрапляння трансгенних елементів у навколишнє середовище (особливо водне), що підтверджують результати аналізів промислових стоків у Китаї.

Таким чином, поширення ГМО у навколишнє середовище є багатофакторним процесом, що включає як біологічні, так і антропогенні чинники. Особливої уваги потребують механізми перехресного запилення, втечі ГМО-організмів з контрольованого середовища, а також логістичні

аспекти аграрного виробництва. Усі ці шляхи потребують ефективного моніторингу, державного регулювання та підвищення обізнаності сільськогосподарських виробників з метою запобігання екологічним наслідкам, [14].

## **2.2 Вплив ГМО-культур на біорізноманіття (рослинні та тваринні організми)**

Генетично модифіковані культури мають значний вплив потенціал впливу на структуру та функціонування біоценозів. Екосистемна рівновага формується під впливом складних взаємозв'язків між рослинами, тваринами та мікроорганізмами. Впровадження трансгенних культур може призводити як до прямих, так і непрямих наслідків для флори і фауни, особливо в агроекосистемах, прилеглих до природних ландшафтів [16].

### **Рослинне біорізноманіття**

Однією з найбільш дискусійних тем є проблема зниження агробіорізноманіття. Масове вирощування ГМО-сортів часто супроводжується вимиванням традиційних та локальних сортів, що веде до звуження генетичної бази культурних рослин. Дослідження в Мексиці, опубліковане в *Nature Sustainability* (2021), показало, що інтродукція ГМО-кукурудзи загрожує унікальним місцевим генотипам, які мають адаптивне значення в умовах зміни клімату (Gonzalez-Ortega et al., 2021).

Іншим аспектом є передача трансгенів диким видам (інтрогресія). Це може змінювати конкурентні переваги між видами, сприяючи домінуванню окремих генотипів, що призводить до витіснення менш конкурентоздатних форм [15].

### **Тваринне біорізноманіття**

Відомо, що трансгенні культури Bt, які продукують токсини *Bacillus thuringiensis*, мають високоспецифічну інсектицидну дію. Проте новітні дослідження (Li et al., 2020) доводять, що навіть високо специфічні Bt-

протеїни можуть впливати на нетаргетні види комах, що є важливою частиною трофічних ланцюгів [16].

Крім того, втрата кормової бази для диких тварин є непрямим ефектом ГМО. Наприклад, інтенсивне застосування гербіцидів у монокультурах трансгенного ріпаку чи сої сприяє зникненню бур'янів, що служать їжею або місцем гніздування для численних видів. У США спостерігалось зменшення чисельності метелика монарха (*Danaus plexippus*) через знищення рослини *Asclepias* — його єдиної кормової бази [17].

### **Вплив на симбіотичні взаємозв'язки**

Також важливо розглядати вплив ГМО-культур на взаємодії між рослинами і тваринами, зокрема запилення та насіноношення. Зміни в морфології або хімічному складі трансгенних рослин можуть призводити до зниження привабливості для запилювачів (наприклад бджіл або метеликів), що відображається на репродуктивному потенціалі дикої флори.

ГМО-культури чинять комплексний вплив на біорізноманіття, сприяючи ерозії генетичних ресурсів, зміні міжвидових взаємодій та функціонуванню екосистем. Хоча трансгенні технології мають потенціал для зменшення хімічного навантаження на довкілля, ризики для біорізноманіття потребують глибшого аналізу на довгострокову перспективу та при врахуванні регіональних особливостей [16].

## **2.3 Вплив на ґрунтові екосистеми та мікробіоту**

Ґрунт є складною живою системою, в якій мікроорганізми відіграють ключову роль у біогеохімічних циклах, розкладанні органічної речовини, фіксації азоту та підтриманні родючості. Генетично модифіковані культури, особливо ті, що продукують інсектициди (наприклад, Bt-культури), можуть змінювати мікробіологічний баланс ґрунту через різноманітні механізми: секрецію трансгенних білків кореневою системою,

зміну хімічного складу рослинних решток, а також через вплив агротехнічних практик, пов'язаних із їх вирощуванням [18].

### **Вплив трансгенних білків на мікробіоту ґрунту**

Найбільш вивченими є білки Cry, що синтезуються в Bt-культурах. Ці білки можуть потрапляти до ґрунту через кореневі виділення або розкладання листя та стебел. Дослідження, проведене в Німеччині (Li et al., 2021), показало, що Cry-білки можуть залишатися в ґрунті протягом кількох місяців після збору врожаю, зберігаючи біологічну активність, особливо за умов низької температури та вологості. Це може призводити до зміни чисельності окремих таксонів мікроорганізмів, зокрема актиноміцетів, денітрифікуючих бактерій та мікоризних грибів. Зміна структури мікробних спільнот:

Матаналіз 2020 року, проведений групою китайських дослідників (Zhang et al., 2020), виявив, що вирощування ГМО-культур, зокрема кукурудзи Bt, у ряді випадків призводило до зменшення різноманіття мікробіоти, особливо в зонах ризикованого землеробства. При цьому найбільше страждали бактерії, відповідальні за розкладання целюлози та азотфіксацію, тоді як кількість патогенних грибів у деяких зразках зростала.

Окреме занепокоєння викликає зміна метаболічної активності мікробіоти. Дослідження ґрунтів з ГМО-соєю в Аргентині показали зниження активності ферментів дегідрогеназ, що свідчить про загальне ослаблення ґрунтової життєдіяльності (García et al., 2021). Вплив агротехнологій, супутніх ГМО-культурам

Поряд із прямим впливом трансгенних елементів, важливе значення мають агрохімікати, що застосовуються у вирощуванні ГМО-культур. Наприклад, широке використання гліфосату в системах із трансгенною соєю чи кукурудзою призводить до зміни рН ґрунту, зниження чисельності мікоризних грибів і мікробного різноманіття. У дослідженні (Cuhra et al., 2022) зазначено, що залишки гліфосату в ґрунті можуть впливати на ріст не лише бур'янів, а й симбіотичних бактерій *Rhizobium* spp. Накопичення трансгенної ДНК у ґрунті: Хоча більшість ДНК швидко деградує під дією ґрунтових

ензимів, частина трансгенного матеріалу може зберігатися у формі вільної ДНК, що, згідно з даними (Cheng et al., 2023), потенційно здатна до горизонтального переносу мікроорганізмам. Хоча ймовірність такого переносу низька, в довгостроковій перспективі це може призвести до непередбачуваних змін у ґрунтовій мікробіоті. Вплив на макроорганізми ґрунту

Окрім мікроорганізмів, ґрунтові екосистеми включають таких макроорганізмів, як дощові черв'яки, багатоніжки, жуки-сапрофаги тощо. Вони відіграють важливу роль у аерації ґрунту, руйнуванні органіки та підтриманні структури ґрунтового профілю. Дослідження, проведене у Франції (Dubois et al., 2021), виявило, що годування дощових черв'яків рослинними залишками Вt-кукурудзи протягом 90 днів призводило до зниження їх репродуктивної активності та загального рівня життєдіяльності. Подібні ефекти спостерігались також у випадку впливу залишків гліфосату в ґрунті. Стійкість ґрунтових екосистем

Варто зазначити, що не всі ґрунтові екосистеми однаково вразливі до трансгенного навантаження. Встановлено, що екосистеми з високим рівнем органічної речовини, багатством видів і стабільними трофічними мережами краще справляються з біологічними порушеннями. У порівняльному дослідженні агроекосистем Китаю та Канади було виявлено, що ґрунти з історією органічного землеробства менш чутливі до впливу ГМО-культур, ніж інтенсивно використовувані поля (Wang et al., 2020).

Ґрунтові екосистеми надзвичайно чутливі до впливу ГМО-культур. Зміни в структурі та функціонуванні мікробіоти, зниження активності ферментів, накопичення трансгенних білків і хімікатів свідчать про необхідність ретельного моніторингу довгострокових наслідків. Забезпечення біобезпеки вимагає розробки специфічних протоколів екологічного нагляду на рівні ґрунтових агробіоценозів [19].

## 2.4 Небезпеки для корисних комах (запилювачів, хижаків, шкідників тощо)

Корисні комахи — одна з найважливіших складових агроecosистем, адже вони виконують функції запилення, біоконтролю шкідників та забезпечують екологічну рівновагу. ГМО-культури можуть безпосередньо або опосередковано впливати на ці організми, що викликає занепокоєння серед наукової спільноти та потребує системного екологічного моніторингу [29].

### Вплив на запилювання

Одним із найбільш вивчених є вплив ГМО-культур на медоносну бджолу (*Apis mellifera*). Більшість досліджень показують, що Bt-протеїни не мають гострої токсичності для бджіл, однак можливі сублетальні ефекти: зниження апетиту, дезорієнтація, порушення навігації та поведінкових патернів (Duan et al., 2021). Наприклад, дослідження в Німеччині (Beyer et al., 2020) показало, що пилок Bt-кукурудзи може негативно впливати на імунну відповідь бджіл при тривалому контакті.

Крім того, вирощування трансгенних культур зазвичай супроводжується активним використанням гербіцидів, що призводять до зниження видового різноманіття бур'янів, які служать джерелом нектару та пилку. Це, в свою чергу, скорочує кормову базу для запилювачів і зменшує чисельність популяції. Вплив на ентомофагів і хижаків шкідників.

Іншою важливою групою є ентомофаги — хижі або паразитичні комахи, що регулюють чисельність шкідників. Bt-культури можуть чинити негативний вплив на цих організмів через трофічний ланцюг. Наприклад, гусениці, що споживають Bt-рослини, накопичують токсин у своєму тілі, і при поїданні їх хижими комахами (наприклад, сонечками Coccinellidae чи златоглазками Chrysopidae) — токсин може передаватися далі.

У дослідженні Liu et al. (2021) встановлено, що личинки златоглазки, які харчувались шкідниками, вирощеними на Bt-культурі, демонстрували знижену тривалість життя та зменшений репродуктивний потенціал. Це є

важливим свідченням опосередкованого впливу трансгенів на біоконтроль шкідників.

### **Зниження функціонального біорізноманіття**

Зменшення кількості як запилювачів, так і хижаків шкідників призводить до зниження функціонального біорізноманіття, що підвищує ризики масових спалахів шкідників і зменшує стійкість агроecosистем. Крім того, зменшення ентомофауни впливає на інші групи тварин, наприклад, птахів, що харчуються комахами. Довгострокові екологічні наслідки.

Дослідження демонструють, що тривале вирощування трансгенних культур на одних і тих самих площах призводить до хронічного зменшення популяцій запилювачів. Так, 10-річне спостереження в США за полями Вт-бавовника показало зниження чисельності диких бджіл майже на 30% у порівнянні з контрольними ділянками (Carvalho et al., 2022). Подібні наслідки спостерігаються в умовах зменшення флористичного різноманіття, що часто супроводжує агроценози з домінуванням ГМО-культур.

Також важливо підкреслити, що не всі впливи є прямими: трансгенні технології сприяють монокультурному землеробству, що зменшує середовище існування для багатьох ентомофагів та запилювачів. Це призводить до загального екологічного збіднення агроландшафтів. Синергія з пестицидами

Численні дослідження наголошують на тому, що поєднання впливу трансгендерних культур і пестицидів може мати посилений негативний ефект. Зокрема, дослідження з Франції (Desneux et al., 2021) вказує, що в умовах експозиції до Cry-білків і залишків неонікотиноїдів, поведінкові порушення в бджіл значно посилюються — включаючи втрату орієнтації, скорочення тривалості життя, зниження продуктивності маток.

ГМО-культури мають потенціал чинити комплексний негативний вплив на корисних комах як безпосередньо, так і через зміну екологічних умов їх існування. Зменшення кормової бази, опосередкована токсичність через трофічні ланцюги та сублетальні ефекти — це головні механізми ризику, які потребують подальших досліджень у польових умовах та моніторингу [20].

## 2.5 Потенційні ризики для водних екосистем (поверхневих та ґрунтових вод)

Водні екосистеми, як поверхневі, так і ґрунтові, надзвичайно вразливі до забруднення з боку сільського господарства. При вирощуванні ГМО-культур у водне середовище можуть потрапляти трансгенні продукти, залишки пестицидів (особливо гліфосату), а також продукти розкладу трансгенних решток. Ці елементи мають потенціал негативно впливати на біоту, якість води та екосистему рівновагу [27].

### Потрапляння трансгенного матеріалу у водні системи

Під час дощів або зрошення частки ґрунту та рослинні рештки, що містять трансгенну ДНК або Bt-токсини, можуть вимиватися в навколишні водойми за даними дослідженнями Rosi-Marshall et al. (2020), трансгенні залишки кукурудзи, які потрапляють у струмки та річки поблизу полів, можуть бути спожиті водними безхребетними, зокрема личинками комах (Chironomidae, Ephemeroptera), що призводить до зниження їх виживання та розвитку. Вплив на водні організми.

Гліфосат — один з найбільш уживаних гербіцидів у системах трансгенного землеробства. Його залишки регулярно фіксуються у воді відкритих водоймах, особливо в аграрних регіонах. Дослідження (Varo et al., 2021) засвідчили, що навіть низькі концентрації гліфосату (0.1-1.0 мг/л) здатні порушувати життєдіяльність водних безхребетних, знижувати чисельність водоростей і змінювати склад фітопланктону.

У ракоподібних (наприклад, *Daphnia magna*) гліфосат може спричиняти окисний стрес, порушення репродуктивної функції та скорочення тривалості життя. Крім того, гліфосат може непрямо впливати на рибу, пригнічуючи розміток зоопланктону — важливої ланки в харчових ланцюгах. Ризики для ґрунтових вод.

Окрім поверхневих водойм, залишки гліфосату і його метаболітів (АМРА) можуть проникати в ґрунтові води. У дослідженні з Нідерландів (Van

Bruggen et al., 2022) виявлено наявність АМРА у понад 60% зразків ґрунтової води поблизу полів із ГМО-соєю. Водночас спостерігались зміни в мікробіоті водоносного горизонту, що потенційно загрожує якісному складу питної води.

Зміни в структурі та функціонуванні водних екосистем, зумовлені ГМО, можуть мати опосередковані наслідки для людини, зокрема через погіршення якості питної води, втрату рекреаційного потенціалу водойм, а також порушення саморегуляторних механізмів природних систем. Наприклад, зниження чисельності очищення від забруднень (Pereira et al., 2021).

### **Ефекти на рибу та амфібій.**

Зміни в структурі та функціонуванні водних екосистем, зумовлені ГМО, можуть мати опосередковані наслідки для людини, зокрема через погіршення якості питної води, втрату рекреаційного потенціалу водойм, а також порушення саморегуляторних механізмів природних систем. Наприклад, зниження чисельності фітопланктону через вплив гліфосату зменшує здатність водойм до природного очищення від забруднень (Pereira et al., 2021).  
Ефекти на рибу та амфібій.

Залишки Вt-протеїнів і гліфосату в водоймах можуть безпосередньо впливати на личинки риби і земноводних. У лабораторних умовах у жаб (*Rana temporaria*) спостерігались мутагенні ефекти, затримка розвитку та порушення гормональної регуляції при експозиції до гліфосату на рівні 1-2 мг/л (Mann et al., 2022). Це ставить під загрозу популяції чутливих видів, які вже перебувають під тиском урбанізації та зміни клімату.

Водні екосистеми виявляються вразливими до впливу трансгенного землеробства через транспортування токсичних речовин, залишків ДНК, гліфосату та його метаболітів. Наслідки включають зниження біорізноманіття, порушення трофічних мереж, забруднення водних горизонтів і ризику для якості питної води. Систематичний екологічний моніторинг та адаптація сільськогосподарських практик до водозахисних стандартів є важливими необхідними [21].

## **РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАГРОЗ І ЧИННИКІВ, ЩО ЇХ ПОСИЛЮЮТЬ**

Сучасне поширення генетично модифікованих організмів (ГМО), особливо сільськогосподарських культур, супроводжується низкою екологічних викликів, які мають потенціал завдати шкоди довкіллю, як у короткостроковій, так і довготривалій перспективі. Багаторівнева дія трансгенних культур — на рівні ґрунту, біоти, водних систем, атмосфери, а також через непрямі механізми (наприклад, хімічне навантаження) — формує комплексну систему екологічних ризиків, що потребує узагальнення, оцінки та регуляторного втручання.

### **3.1 Класифікація основних екологічних загроз, пов'язаних з ГМО**

#### **1. Зниження біорізноманіття**

Розповсюдження трансгенів у дикі популяції через вертикальний генний потік (гібридизація з дикими родичами) може змінювати генетичну структуру популяцій і знижувати їхню адаптивну здатність до змін навколишнього середовища. Витіснення місцевих сортів культур і пов'язаних з ними мікробіоценозів веде до спрощення екосистемної структури.

#### **2. Порушення функціонування ґрунтових екосистем**

Трансгенні культури, особливо ті, що виробляють Bt-токсини або вирощуються з інтенсивним застосуванням гербіцидів, призводить до дисбалансів у ґрунтовій мікрофлорі, зменшення чисельності актиноміцетів, мікоризних грибів та азотфіксуючих бактерій. Це ускладнює процеси мінералізації та циркуляції поживних речовин.

#### **3. Вплив на запилювачів і ентомофагів**

Bt-культури здатні негативно впливати на нецільові види комах, особливо на тих, що є природними хижаками або запилювачами. Втрата цих

організмів послаблює стійкість агроєкосистем і загрожує продовольчій безпеці через зменшення запилення.

#### 4. Накопичення токсичних сполук у довкіллі

Підвищене використання гліфосату та інших гербіцидів у трансгенному землеробстві спричиняє хімічне забруднення ґрунтів і вод, впливаючи на різні трофічні рівні в екосистемах. Зокрема, сполуки гліфосату здатні довго зберігатися у ґрунті та проникати у поверхневі й підземні води.

#### 5. Генетичне забруднення

Горизонтальний переніс генів можливий не лише в межах виду, але й між віддаленими таксонами через мобільні генетичні елементи. Це створює, включаючи патогенні, що може мати наслідки як для довкілля, так і для здоров'я людини [21].



Рисунок 3.1 Класифікація основних екологічних загроз, пов'язаних з ГМО

### 3.2 Чинники, що посилюють екологічні загрози

Монокультурне землеробство ГМ-культури зазвичай вирощуються у великих агропромислових масивах, де застосовуються однакові агротехнічні прийоми. Це веде до агроекологічної одноманітності, яка знижує здатність системи до саморегуляції та адаптації до стресових факторів. Недостатність моніторингу та екологічної експертизи.

У країнах з перехідною економікою, зокрема в Україні, часто відсутні систематичні дослідження впливу ГМО на локальні екосистеми. Це унеможливує своєчасне виявлення негативних змін і розробку коригуючих заходів.

Вплив трансгенних культур і супутніх агрохімікатів має накопичувальний характер. Навіть якщо окремо взяті дози не перевищують допустимих норм, їх довготривала дія створює ефекти хронічної токсичності, які виявляються лише через роки.

Зміна клімату може посилювати або модифікувати негативний ефект ГМО, наприклад, через зміну розподілу шкідників або водного балансу, що посилює залежність агросистем від інтенсивного землеробства.

Екологічні наслідки впровадження ГМО не є ізольованими. Вони мають системний характер, тобто один негативний ефект здатен провокувати інші в ланцюгу:

Порушення мікробіоти → зниження ґрунтової родючості → збільшення агрохімічного навантаження → погіршення якості води → вплив на водні організми.

Зниження чисельності запилювачів → зменшення врожайності плодкових культур → потреба у штучному запиленні → економічні втрати.

### 3.3 Пріоритети для екологічної політики та науки

Для зменшення негативного екологічного впливу трансгенного землеробства необхідно:

- Створити систему довготривалого екологічного моніторингу на всіх рівнях біосфери;
- Удосконалити процедури оцінки ризиків, враховуючи кумулятивні й непрямі ефекти;
- Застосувати принцип запобіжності — не допускати широкого впровадження нових ГМО без достатньої бази даних;
- Розвивати біозахисне (еко-раціональне) землеробство, яке інтегрує сучасні досягнення збереження біорізноманіття та продуктивності.

Таким чином, загрози, пов'язані з генетично модифікованими організмами, є багатокomпонентними, взаємопов'язаними та такими, що здатні посилювати одна одну. У контексті глобальних екологічних викликів — втрати біорізноманіття, деградації ґрунтів, забруднення вод — розумне регулювання використання ГМО має стати стратегічним пріоритетом екологічної політики. Водночас наукові дослідження повинні відігравати ключову роль у формуванні доказової бази для рішень, що впливають на майбутнє довкілля [26].

## ВИСНОВКИ

В результаті проведеного аналізу, встановлено, що генетично модифіковані об'єкти відіграють важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки, підвищенні врожайності та зменшенні витрат на агрохімікати. Вони здатні значно спростити процес вирощування культур, зробити їх стійкішими до хвороб, шкідників, посухи та інших стресових чинників. Такі можливості відкривають шлях до ефективнішого сільського господарства в умовах глобальних кліматичних змін.

Поглиблене вивчення екологічних аспектів показало, що застосування ГМО супроводжується численними ризиками, серед яких найгострішими є:

— Порушення структури та функцій ґрунтових екосистем, особливо через трансгенні білки та гербіциди, які впливають на мікробіоту, пригнічують діяльність корисних мікроорганізмів і змінюють хімічний склад ґрунтів;

— Загроза водним екосистемам: продукти розкладу трансгенних рослин та хімічні речовини, зокрема гліфосат, можуть потрапляти у водойми, впливаючи на водну біоту, планктон, риб, амфібій і навіть мікроорганізми у підземних водах;

— Ризики для біорізноманіття – як флори, так і фауни. Передача трансгенів диким рослинам, витіснення місцевих сортів, вплив на запилювачів, хижаків, шкідники порушують природні трофічні зв'язки й загрожують стабільності екосистем;

— Ризики горизонтального переносу чужорідних генів, особливо в умовах відсутності належного контролю та моніторингу, може призвести до непередбачуваних наслідків у майбутньому;

— Супровідне застосування агрохімікатів, особливо гербіцидів широкого спектру дії, підсилює токсичне навантаження на природу на викликає ефекти кумулятивного забруднення.

У роботі особлива увага була приділена законодавчому регулюванню обігу ГМО в Україні. З'ясовано, що хоча існує нормативна база, яка формально

регламентує поводження з ГМО, її ефективність на практиці залишається низькою. Відсутність державних реєстрації багатьох трансгенних культур, недосконалість механізмів контролю, формальне дотримання вимог щодо маркування продукції та слабка просвітницька робота серед фермерів створюють реальну загрозу для довкілля та здоров'я людей.

Крім того, досліджено досвід інших країн, зокрема держав Європейського Союзу, США, Бразилії, Канади та Китаю. Це дозволило зробити висновок, що найкращих результатів у сфері біобезпеки щодо ГМО досягають ті країни, які впроваджують багаторівневу систему наукової експертизи, ризик-менеджменту, громадського моніторингу та адаптації технології під місцеві екосистеми. До необхідних заходів можна віднести наступні:

1. Використання ГМО повинно здійснюватися лише за наявності повноцінної оцінки екологічних ризиків, проведеної незалежними експертами, та під контролем державних органів.

2. Необхідно впровадити ефективний механізм маркування ГМ-продукції, що дозволить споживачам робити усвідомлений вибір, а виробникам – нести відповідальність за дотримання екологічних норм.

3. Вкрай важливим є розвиток національної стратегії біобезпеки, що має включати регулярний моніторинг стану ґрунтів, вод, біоти в регіонах, де використовують ГМ-культури.

4. Особливу увагу потрібно приділяти просвітницькій роботі серед аграріїв, студентів та громадськості – формування екологічної культури повинно стати основою сталого розвитку агросектору.

У дипломній роботі показано, що впровадження біотехнологій у сільське господарство має відбуватися виключно на основі наукової доказовості, етичної відповідності та екологічної обережності. Збереження природи, захист довкілля та здоров'я нації мають бути вищим пріоритетом за короткострокові економічні вигоди.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні генетично модифікованих організмів» : Закон від 31.05.2007 р. № 1103-V // Відомості Верховної Ради України. – 2007. – № 45. – Ст. 541.
2. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» : Закон від 25.06.1991 р. № 1264-XII // Відомості Верховної Ради України. – 1991. – № 41. – Ст. 546.
3. Закон України «Про основні засади державної екологічної політики України на період до 2030 року» : Закон від 21.12.2010 р. № 2818-VI // Відомості Верховної Ради України. – 2011. – № 26. – Ст. 218.
4. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку проведення державної реєстрації ГМО» : Постанова від 23.07.2009 р. № 997 // Урядовий кур'єр. – 2009. – № 137.
5. Cartagena Protocol on Biosafety to the Convention on Biological Diversity. – Montreal : Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2000. – 34 p.
6. Heinemann J. A., et al. Regulation of GM crops and environmental impacts // Environment International. – 2020. – Vol. 145. – Article ID: 106102.
7. Li Y., et al. Persistence of Bt proteins in soils and effects on microorganisms // Applied Soil Ecology. – 2021. – Vol. 168. – Article ID: 104127.
8. Van Bruggen A. H. C., et al. Glyphosate and its effects on soil and aquatic ecosystems // Frontiers in Environmental Science. – 2022. – Vol. 10. – Article ID: 821280.
9. Zhang Y., et al. Meta-analysis of GM crop effects on microbial diversity // Soil Biology and Biochemistry. – 2020. – Vol. 144. – Article ID: 107785.
10. Gonzalez-Ortega O., et al. Impacts of GM maize on native varieties in Mexico // Nature Sustainability. – 2021. – Vol. 4. – P. 568–575.

11. Rosi-Marshall E. J., et al. Toxins in transgenic crop byproducts can harm stream ecosystems // *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*. – 2020. – Vol. 104(41). – P. 16204–16208.
12. Dubois T., et al. Bt maize residues affect earthworm reproduction // *Pedobiologia*. – 2021. – Vol. 88. – Article ID: 150674.
13. Beyer N., et al. Bt maize pollen exposure and bee immunity // *Journal of Insect Physiology*. – 2020. – Vol. 120. – Article ID: 104005.
14. Desneux N., et al. Combined effects of Cry-proteins and pesticides on pollinators // *Environmental Pollution*. – 2021. – Vol. 276. – Article ID: 116720.
15. Liu X., et al. Effects of Bt crops on natural enemies of pests // *Biological Control*. – 2021. – Vol. 158. – Article ID: 104601.
16. Cuhra M., et al. Glyphosate residues impact on Rhizobium and fungi // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2022. – Vol. 70(14). – P. 4215–4222.
17. Tarasyuk L., Halytska A. Гармонізація українського законодавства щодо ГМО з нормами ЄС // *Аграрне право України*. – 2022. – № 1. – С. 36–44.
18. Garcia J. P., et al. Dehydrogenase enzyme activity in GM-soybean soils // *Ecotoxicology*. – 2021. – Vol. 30(3). – P. 401–410.
19. ISAAA. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2023. ISAAA Brief No. 58. – : <https://www.isaaa.org>
20. Genetically modified organisms. –/ Minnesota State University. – <https://web.mnstate.edu/robertsb/307/ANTH%20307/genetically%20modified%20organisms.PDF>
21. FAO. The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. – Rome: FAO, 2019. – 572 p.
22. <https://web.mnstate.edu/robertsb/307/ANTH%20307/genetically%20modified%20organisms.PDF>
23. [https://www.rada.gov.ua/print/231155.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.rada.gov.ua/print/231155.html?utm_source=chatgpt.com)

24. [https://voldpss.gov.ua/viewNews/yak-zapobihyty-rozpovsiudzhenniu-nasinnia-nezareiestrovanykh/?utm\\_source=chatgpt.com](https://voldpss.gov.ua/viewNews/yak-zapobihyty-rozpovsiudzhenniu-nasinnia-nezareiestrovanykh/?utm_source=chatgpt.com)
25. <https://www.ers.usda.gov/data-products/charts-of-note/chart-detail?chartId=107037>
26. <https://gm.agbioinvestor.com/downloads/9>
27. Баласинович Б. ГМО: виклики сьогодення та досвід правового регулювання / Б. Баласинович, Ю. Ярошевська // Інститут економічних досліджень та політичних консультацій. – К. : Видавничий дім “АДЕФ-Україна”, 2010. – 256 с.
28. Постанова Кабінету Міністрів України “Тимчасові критерії безпеки поводження з генетично модифікованими організмами та провадження генетично-інженерної діяльності у замкненій системі” від 16.10.2008 року, № 922.
29. Закон України “Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні генетично модифікованих організмів”. – Відомості Верховної Ради України, 2007, № 35, ст. 484.