

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МАРІУПОЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЕКОНОМІКО-ПРАВОВИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА  
ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

До захисту допустити:  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Мітюшкіна Х.С  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**«ЕКОЛОГІЗАЦІЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА»**

Кваліфікаційна робота  
здобувача вищої освіти першого  
(бакалаврського) рівня вищої освіти освітньо-  
професійної програми «Екологія, охорона  
навколишнього середовища та збалансоване  
природокористування»  
Зеленюк Анастасії Павлівни  
Науковий керівник:  
к.е.н., доцент  
Іванова Вікторія Віталіївна  
Рецензент:  
Данилова Світлана Віталіївна  
Старший фахівець з оцінювання  
Міжнародної гуманітарної  
організації ІМРАСТ  
(кліматично-екологічний підрозділ)

Кваліфікаційна робота захищена  
з оцінкою \_\_\_\_\_  
Секретар ЕК \_\_\_\_\_  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Київ – 2024

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. Негативний вплив сільського господарства на стан навколишнього середовища.....	7
1.1. Негативний вплив землеробства на довкілля .....	7
1.2. Негативний вплив тваринництва на НС.....	18
1.3 Відновлення земель після сільськогосподарського впливу .....	19
Висновки до розділу 1.....	21
РОЗДІЛ 2. Екологізація сільського господарства .....	23
2.1. Історія екологізації сільського господарства.....	23
2.2. Кількість розораних земель в Україні.....	29
2.3 Проблема з використанням пестицидів в Україні .....	30
Висновки до розділу 2.....	31
РОЗДІЛ 3. Шляхи зменшення негативного впливу сільського господарства на навколишнє середовище .....	32
3.1. Світовий досвід екологізації сільського господарства .....	32
3.2. Оптимальні рішення та впровадження сучасних біотехнологій в сільське господарство .....	42
Висновки до розділу 3.....	45
ВИСНОВКИ.....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Сільське господарство дуже значиме у досягненні необхідних параметрів екологічної стійкості. Процес виробництва продукції пов'язаний з використанням природних ресурсів територій, його результати впливають на якість довкілля людини. Сільське господарство, нажаль, є тим чинником, що негативно впливає на якісний стан навколишнього природного середовища і кількісні показники природних ресурсів, на екологічну безпеку загалом. Таким проявом негативного впливу сільськогосподарської діяльності на довкілля є забруднення ґрунтів, вод, атмосферного повітря, залишками мінеральних добрив та засобів захисту рослин, відходами птахоферм і тваринницьких ферм, втрата біологічного та ландшафтного різноманіття тощо.

Через це екологізація сільськогосподарського виробництва виступає одним з найбільш важливих факторів, щоб забезпечити збереження довкілля для майбутніх поколінь.

**Об'єктом дослідження** виступає негативний вплив сільського господарства на навколишнє середовище.

**Предметом дослідження** є напрямки екологізації сільського господарства.

**Метою дослідження** є особливості впливу сільського господарства на навколишнє середовище.

Досягнення мети здійснювалось шляхом вирішення наступних завдань:

- розглянути негативний вплив землеробства;
- розглянути як впливає тваринництво на НС;

- проаналізувати можливості та варіанти відновлення земель після сільськогосподарського впливу;
- дослідити історію екологізації сільського господарства;
- проаналізувати кількість розораних земель;
- дослідити проблеми використання пестицидів;
- дослідити світовий досвід екологізації
- розглянути оптимальні рішення для впровадження сучасних біотехнологій.

**Інформаційною базою дослідження** є статистичні та аналітичні матеріали, матеріали вітчизняних та міжнародних конференцій, монографії вітчизняних та зарубіжних вчених.

**Методи дослідження** були обрані з урахуванням поставленої мети і завдань дослідження, його об'єкта і предмета. У роботі застосовувалися діалектичний метод пізнання, загальнонаукові (системний, функціональний та ін.) і спеціальні методи правових досліджень (формально-догматичний та ін).

Системно-структурний метод був використаний в роботі для дослідження сутність екологізації сільського господарства.

Формально-догматичний був застосований при дослідженні поняття «екологізації» та ін.

Порівняльно-правовий метод використовувався при дослідженні міжнародного досвіду екологізації сільського господарства.

З метою поглибленого дослідження, пізнання і вивчення питання «Екологізації сільського господарства» було використано зазначені методи у сукупності.

**Апробація результатів роботи.** Участь у Декаді студентських наук.

За **структурою робота** складається зі вступу, трьох основних розділів, що взаємопов'язані між собою, які розподілені на вісім підрозділів, висновку та списку використаних джерел (31 найменувань). Загальний обсяг роботи складається з 53 сторінки.

## РОЗДІЛ 1

### НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА НА СТАН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

#### 1.1. Негативний вплив землеробства на довкілля

З моменту появи людини 2,5 мільйона років тому в Східній Африці біорізноманіття скорочується. Цей спад посилюється з винаходом сільського господарства приблизно 10 000 років тому, що різко скоротило біорізноманіття рослин і тварин. У відповідь на вимоги сільського господарства люди шляхом одомашнення спричинили штучну еволюцію тварин і рослин [1].

Вирощування одомашнених видів передбачає різні умови та методи вирощування, такі як використання добрив, обробка ґрунту, зміни у землекористуванні та використання певних сортів культурних рослин, усе це залежить від наявності природних ресурсів і призвело до глибокого скорочення біорізноманіття. Завдяки цим змінам було досягнуто збільшення виробництва продуктів харчування. Завдяки цьому зростанню збільшилася й чисельність людської популяції [1].

Оцінки показують, що з моменту появи людини знадобилося приблизно 2,5 мільйона років, щоб досягти популяції від 1 до 10 мільйонів, що відбулося до того, як було винайдено сільське господарство. Після цього, з моменту винаходу сільського господарства, було потрібно лише 5000 років, щоб подвоїти цю цифру та досягти чисельності населення від 5 до 20 мільйонів. Це прискорення зростання населення внаслідок розвитку

сільського господарства також означає, що для задоволення потреб зростаючого населення необхідне постійне збільшення сільськогосподарського виробництва.

Таким чином, необхідно постійно збільшувати площі, призначені для сільського господарства, щоб впоратися зі зростаючими потребами в продуктах харчування. Сьогодні, за різними оцінками, територія, призначена для сільського господарства, перевищує 38% земної поверхні. Альтернативним рішенням є інтенсифікація сільського господарства, тобто збільшення виробництва сільськогосподарської продукції на одиницю площі за допомогою різних агротехнічних засобів [1].

Тим не менш, інтенсифікація також завдала прямої шкоди навколишньому середовищу:

витік реактивного азоту та фосфору з інтенсивно керованих полів забруднює поверхневі та прибережні води та забруднює ґрунтові води,

пестициди, які вбивають нецільові організми, важливі для екологічних спільнот та екосистем,

втрата ґрунту загрожує водним шляхам і довгострокової родючості орних земель,

прискорений кругообіг вуглецю та азоту сприяє дестабілізації клімату, а зрошення виснажує обмежені водні ресурси [5].

Сільське господарство відповідає за виділення 30% від усієї частки антропогенних викидів парникових газів (ПГ), використовує близько 70% прісної води та обслуговує більше однієї третини всіх наявних оброблених земель [7].

Землеробство – це одна з галузей сільського господарства. Розглянемо які ж наслідки для довкілля розвиток цієї галузі має.

Перша проблема - використання добрив. Ці сполуки, спочатку органічні, походили з посліду домашніх тварин або гуано птахів. Концентрації певних хімічних елементів у ґрунті збільшувалися з додаванням добрив, сприяючи росту культурних рослин. Найпоширенішими елементами, що містяться в добривах, є азот, фосфор і калій у різних пропорціях. Відсутність або нестача таких елементів у багатьох ґрунтах обмежує продуктивність рослин. Однак збільшення виробництва деяких рослин через додавання добрив призводить до зменшення біорізноманіття рослин на оброблюваній території [1].

Зменшення біорізноманіття рослин через удобрення ґрунту зазвичай пов'язане зі збільшенням надземної продукції. Це явище можна пояснити такими різними теоріями:

теорією асиметрії світла, яка пов'язана із затримкою росту рослин, що ростуть повільніше;

гіпотезою про загальну конкуренцію, яка припускає наявність підземної конкуренції на додаток до надземної конкуренції [1].

На основі мета-аналізу 115 експериментів спостерігається зменшення біорізноманіття при додаванні азоту. Це зменшення є більш помітним, коли використовується  $\text{NH}_4^+$ , ніж коли  $\text{NO}_3^-$  використовується як добриво. Було показано, що ця втрата видового багатства через додавання азоту є більш значною у теплих середовищах, що призводить до більшої втрати чутливих до азоту видів, таких як бобові та несудинні рослини [1].

Крім того, кілька досліджень показують зменшення видового багатства після додавання фосфору та інших поживних речовин як добрива [1].

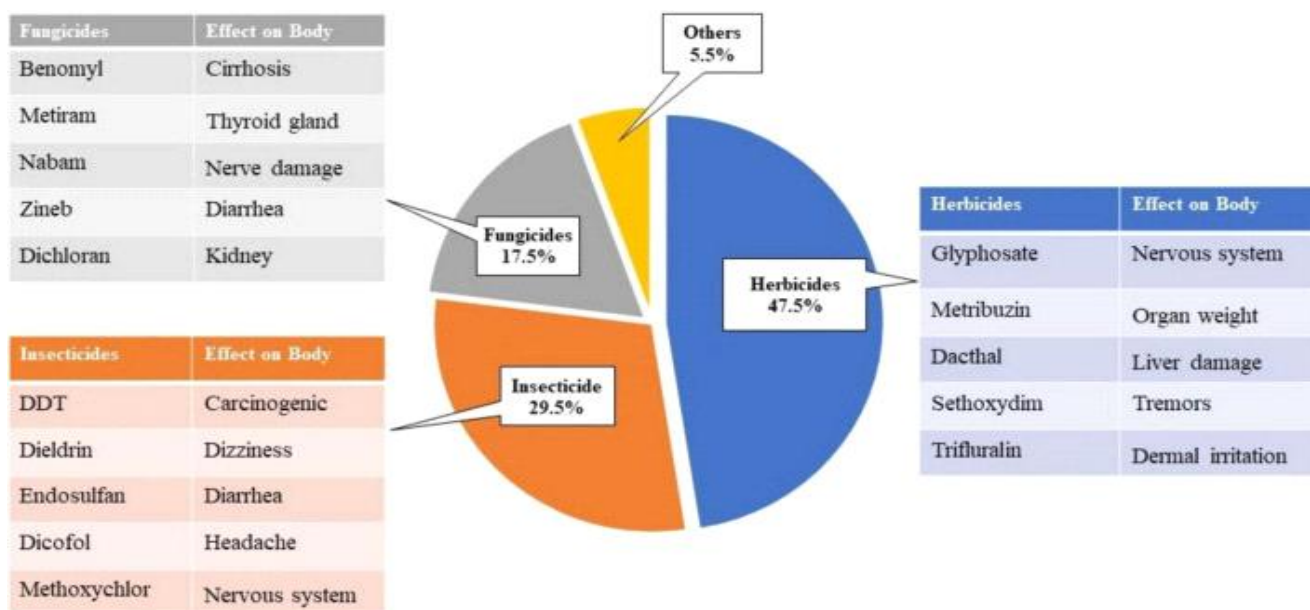
Друга проблема – використання пестицидів. Пестициди - це хімічні сполуки, які використовуються для знищення комах, гризунів, грибків і



бур'янів. Вони включають інсектициди, гербіциди, нематоциди, фунгіциди, родентициди, регулятори росту рослин та інші сполуки [3].

Коли пестициди застосовуються до цільової рослини або утилізуються, вони можуть потрапити в навколишнє середовище. Потрапляючи в навколишнє середовище, пестициди можуть зазнавати таких процесів, як перенесення (або рух) і деградація. Деградація пестицидів у навколишньому середовищі утворює нові хімічні речовини [2].

Фізичні та хімічні властивості, такі як молекулярна маса, здатність до іонізації, ліпофільність, поляризованість і летючість пестицидів визначають їхню поведінку та біологічну активність у ґрунті. Загалом, доля пестицидів у ґрунтовій екосистемі залежить від абіотичної трансформації, пов'язаної з її фізико-хімічними властивостями, а також від біологічної трансформації, пов'язаної з присутністю живих організмів [3].



**Рис. 1. 1. Застосування різних пестицидів.**

**Тип пестицидів, і частка в загальному користуванні [3]**

Пестициди переміщуються з цільового місця в інші середовища навколишнього середовища або нецільові рослини шляхом процесів перенесення, включаючи адсорбцію, вимивання, випаровування, дрейф розпилення та стікання. Різні типи хімічних речовин впливають по різному. Наприклад, хлорорганічні сполуки, мають низьку гостру токсичність, але виявляють значну здатність накопичуватися в тканинах і чинники довготривалу шкоду. Їх заборонено продавати в більшості країн, але їх залишки залишаються в навколишньому середовищі протягом тривалого часу через свою природу. Хоча органофосфатні пестициди мають низьку стійкість, вони мають відчутну гостру токсичність для ссавців [2].

Пестициди були виявлені в поверхневих і підземних водах. Загальновизнано, що пестициди потрапляють як у поверхневі, так і в підземні води шляхом прямого застосування для боротьби бур'янами та водними комахами, просочуванням і стіканням із сільськогосподарських виробничих полів, виносом із сільськогосподарських промислових стічних вод.

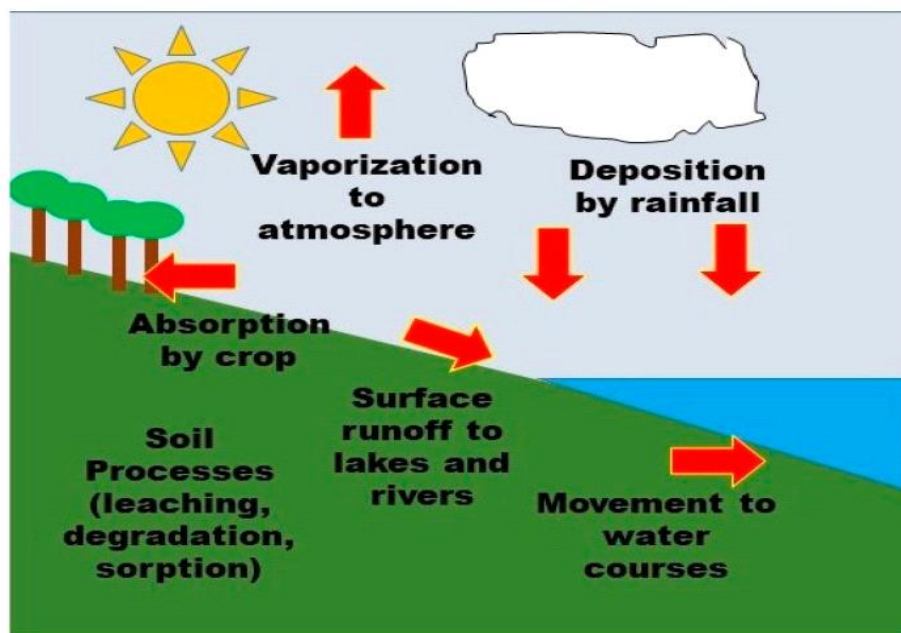


Рис. 1. 2. Поведінка пестицидів у навколишньому середовищі [2]

Ґрунтові води забруднюються, коли пестициди вимиваються з оброблених полів, або місць розміщення відходів. Поверхневі водні системи, включаючи річки, озера, струмки, водосховища та лимани, особливо вразливі до накопичення пестицидів та інших хімічних речовин, оскільки вони є поглиначами побічних продуктів людської діяльності. Системи поверхневих вод пов'язані з підземними водами. Крім того, пестициди з поверхневих вод можуть переходити в ґрунтові через просочування ґрунту. Вони також потрапляють в атмосферу через випаровування та транспірацію [2].

Після нанесення пестицидів на цільовий організм вони розкладаються мікробами, хімічними реакціями або світлом. Залежно від умов навколишнього середовища та хімічних характеристик пестициду, розкладання може тривати від годин до днів або навіть років. Процеси деградації пестицидів контролюють стійкість пестицидів у ґрунтах і дають різні метаболіти[2].

Наприклад, у випадку хлорпірифосу основний метаболіт 3, 5, 6-трихлор-2-піридинол (ТСР) хлорпірифосу є набагато більш мобільним і токсичним, ніж його вихідний хлорпірифос. Хлорпірифос і продукти його розпаду часто виявляють у ґрунтах, відкладеннях і підземних водах у багатьох районах. Ці хімічні речовини вважаються хімічними речовинами, що порушують роботу ендокринної системи, і, можливо, становлять потенційну небезпеку для здоров'я людини [2].

Пестициди, як правило, використовуються для захисту врожаю, але є кілька способів, якими вони також можуть забруднювати ґрунт. Деякі з поширених причин включають неналежне використання, відсутність інформації про те, як їх використовувати з точки зору кількості, Адсорбція, десорбція відбувається при їх проходженні крізь ґрунт. Ці явища залежать від властивостей пестицидів, таких як стійкість, біонакопичення та

токсичність. Через цей процес ґрунти стають вторинними джерелами забруднюючих речовин [3].

Інтенсивна обробка ґрунту пестицидами може призвести до зменшення популяції корисних ґрунтових мікроорганізмів. За словами ґрунтознавця доктора Елейн Інгам, «якщо ми втрачаємо і бактерії, і гриби, ґрунт деградує». Надмірне використання хімічних добрив і пестицидів має наслідки для ґрунтових організмів, подібні до надмірного використання антибіотиків людиною. Невибіркове використання хімікатів призводить до того, що через деякий час у ґрунті не вистачає корисних організмів, щоб утримувати поживні речовини» [4] Наприклад, рослини залежать від різноманітних ґрунтових мікроорганізмів, які перетворюють атмосферний азот на нітрати, які рослини можуть використовувати. Звичайні ландшафтні гербіциди порушують цей процес: триклопір пригнічує ґрунтові бактерії, які перетворюють аміак на нітрит; гліфосат зменшує ріст і активність вільноживучих азотфіксуючих бактерій у ґрунті, а 2,4-D зменшує азотфіксацію бактеріями, які живуть на коренях рослин квасолі, зменшує ріст і активність синьо-зелених водоростей, що фіксують азот [4].

Інша проблема - гербіциди. Гербіциди — це хімічні молекули, призначені для зменшення росту небажаних рослин і, таким чином, сприяють продуктивності рослин, які використовуються в сільському господарстві. Гербіциди зазвичай впливають по різному на бур'яни і мають високий окислювальний потенціал через велику кількість електронегативних залишків у своїй структурі, включаючи хлор, фосфорну кислоту, гідроксид, кисень, сульфоніл, аміни тощо. Цей підвищений окислювальний потенціал та інші молекулярні взаємодії також впливають на нецільові організми, включаючи інші фотосинтезуючі організми, хижакі, мікроорганізми [1].

І атразин, і трибенурон-метил змінили видовий склад рослинної спільноти. Загальна кількість видів рослин на ділянках, оброблених гербіцидом, була нижчою, ніж на контрольних ділянках. У контролі види належать до 26 родів; однак на ділянках, оброблених 25%, 50% і 100% RFAC атразину, види належать до 20, 18 і 21 родів, а на ділянках, оброблених 25%, 50% і 100% RFAC трибенурон-метилу, всього існувало до 18, 19 і 19 родів відповідно. Крім того, обидва гербіциди суттєво змінили відносну частоту деяких рослин, але не мали значного впливу на види з відносно високою частотою в контролі, включаючи *Digitaria sanguinalis*, *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* і *Abutilon theophrasti*. Кількість видів рослин, відносна частота яких була пригнічена гербіцидами, була вищою, ніж кількість видів рослин, відносна частота яких була збільшена гербіцидами [24].

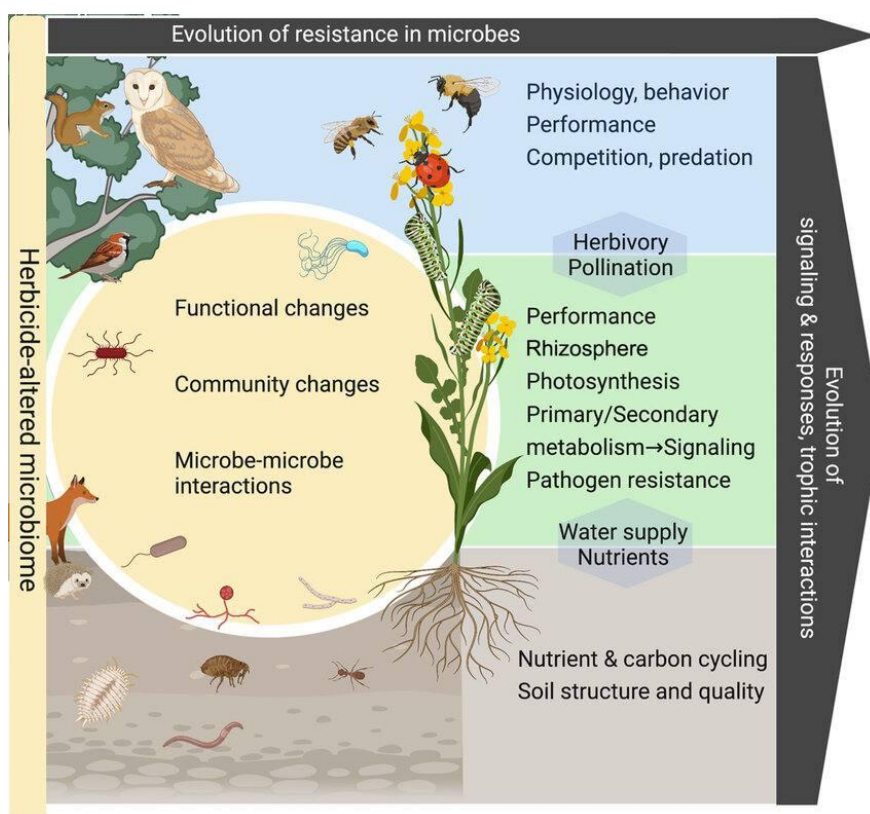


Рис. 1.3. Вплив гербіцидів на екологію [25]

Зі збільшенням кількості років застосування гербіцидів кількість видів рослин зменшувалася, а інгібуюча дія гербіцидів посилювалася. Наприклад, загальна кількість видів рослин на ділянках, оброблених 25% і 100% RFAC трибенурон-метилу, не перевищувала таку на контрольній ділянці в 2014, 2015 або 2016 роках. Дійсно, загальна кількість видів рослин Види рослин на ділянках, оброблених 25% або 100% RFAC трибенурон-метилу в 2016 році, були нижчими, ніж на тих самих ділянках у 2014 та 2015 роках. Крім того, час суттєво вплинув на індекс видового багатства Маргалєфа, індекс різноманітності Шеннона [24].

Глобальне використання гербіцидів різко зросло за останні десятиліття, з використанням 1 Мт щороку. Гліфосат є найбільш використовуваним гербіцидом у всьому світі. Гліфосат використовується в сільському господарстві, але, що важливо, також у садівництві, лісівництві та міських умовах, що призводить до глобального забруднення штучних і природних екосистем. Іншими широко використовуваними гербіцидами є, наприклад, триазини (наприклад, атразин), ацетохлор і метолахлор. Залишки гербіцидів знаходяться в ґрунті, воді, нецільових рослинах, тваринах і людині. На додаток до активних інгредієнтів, комерційні гербіциди включають коформулянти, які можуть бути навіть більш токсичними для нецільових організмів. Гербіциди можуть впливати на нецільові рослини та тварин, не опосередковані мікробіомами, але вплив через змінений ґрунт і мікроби, пов'язані з хазяїном (організм, що містить усередині вірус, паразита чи симбіотичного партнера, зазвичай забезпечуючи його харчуванням та притулком.), менш зрозумілі [25].

Вплив гербіцидів на мікроби, пов'язані з ґрунтом і хазяїном, може бути прямим, впливаючи на функцію та виживання мікробів, або непрямим, через навколишнє середовище чи хазяїна, залежно від механізму дії гербіциду.

Гліфосат може безпосередньо впливати на виживання мікробів, оскільки він інгібує фермент 5-енолпірувілшикімат-3-фосфат-синтазу (EPSPS) шикіматного шляху, який виробляє незамінні амінокислоти як у рослинах, так і в більшості мікробів. Інші гербіциди, які безпосередньо пригнічують мікробні метаболічні процеси, включають гербіциди-інгібітори ацетолактатсинтази (ALS), що змінюють біосинтез амінокислот з розгалуженим ланцюгом, інгібітори ацетил-КоА-карбоксилази (ACC), що перешкоджають синтезу жирних кислот, та інгібітори глутаміну, що перешкоджають метаболізму азоту [25].

В іншій групі гербіцидів спосіб дії не спрямований безпосередньо на мікроби, а спрямований на клітинний метаболізм рослин, такий як фотосинтез і біосинтез рослинних гормонів. Однак будь-які зміни властивостей рослин можуть змінити мікробіоту, яка взаємодіє з рослинами. Вплив гербіцидів може зрештою змінити мікробні спільноти за допомогою багатьох процесів. Мікроби відрізняються за своєю внутрішньою чутливістю до гербіцидів. Наприклад, певні амінокислотні маркери визначають спорідненість гліфосату з цільовими ферментами, а потім і мікробну чутливість. Різниця в чутливості мікробів може призвести до зміни їх чисельності під впливом гербіцидів. Багато мікробів можуть метаболізувати гербіциди та використовувати їх як джерела поживних речовин. Приклади включають атразин і гліфосат, які метаболізуються *Pseudomonas* і *Arthrobacter*, ацетохлор і дикабма, метаболізовані *Sphingomonas*, і паракват, що метаболізуються дріжджами *Lipomyces* [25].

Мікроби, пов'язані з ґрунтом і ризосферою, необхідні для здатності ґрунту підтримувати життєво важливі екосистеми. Наслідки використання гербіцидів для ґрунтових процесів залежать від хімічного складу гербіцидів, способу їх дії та сприйнятливості мікробів до них, а також едафічних

факторів і клімату. Долю гербіциду у ґрунті важко передбачити, оскільки вони залежать від багатьох та/або частково протидіючих сил; гербіциди впливають на мікробні спільноти, а мікроби розкладають гербіциди, і два процеси можуть бути взаємодіюче визначені фізичними та хімічними характеристиками ґрунтів, методами ведення сільського господарства та кліматичними умовами. Відповідно, результати впливу гербіцидів на мікробіоми ґрунту були різними [25].

Наприклад, гліфосат (активний інгредієнт) негативно впливає на шикіматні шляхи, присутні у більшості мікробів, але їх генетична стійкість до гліфосату різна. Таким чином, деякі з резистентних і гліфосат-деградуючих мікробів, які можуть використовувати гліфосат як джерело поживних речовин, можуть стати поширеними в мікробному співтоваристві. Так само в деяких середовищах атразин може не впливати на загальну мікробну спільноту тоді як в інших середовищах це може зменшити мікробну біомасу ґрунту або збільшити кількість бактерій, що розкладають атразин (активний інгредієнт) завдяки сильному відбору, який надає їм перевагу, що призводить до деградації атразину.

Потенційні екологічні та еволюційні наслідки гліфосату та інших гербіцидів для мікробних ґрунтових спільнот недостатньо вивчені. Тим не менш, нещодавні дослідження вказують на негативну кореляцію між використанням пестицидів і корисними мікробами, пов'язаними з ґрунтом. Наприклад, молекула гліфосату містить фосфор (P), який додає додаткове навантаження фосфору в екосистему. Крім того, гербіциди можуть додатково впливати на кругообіг фосфору в ґрунті, конкуруючи з іонами фосфату за ті самі сайти зв'язування. Однак результат цієї взаємодії гліфосат-фосфор у ґрунті знову сильно залежить від властивостей ґрунту та біотичних факторів



(тип рослинності та ґрунтових мікробних угруповань), а також клімату та погодних умов [25].

## **1.2. Негативний вплив тваринництва на НС**

Велика кількість літератури свідчить, що сучасний розвиток тваринництва призводить до безвідповідального використання природних ресурсів і значної шкоди навколишньому середовищу [6].

Комісія EAT-Lancet підрахувала, що виробництво продуктів харчування тваринного походження, особливо червоного м'яса, відповідає за значну частку парникових газів у харчовій системі, включаючи вуглекислий газ, метан і закис азоту. За оцінками, 88% викидів внаслідок тваринництва утворюються на фермах, і лише 12% – у результаті діяльності харчової системи після сільськогосподарського виробництва (наприклад, переробка, охолодження, транспортування, роздрібна торгівля, утилізація). Діяльність з виробництва кормових культур, включаючи виробництво синтетичних добрив, безвідповідальне управління землею та ґрунтами, а також використання невідновлюваної енергії, є основними джерелами цих викидів [6].

Внутрішні викиди, що утворюються в результаті діяльності під час вирощування худоби, включають кишкову ферментацію та поведження з гноєм. Разом лише на екологічне тваринництво припадає 14–51% загальних антропогенних парникових газів [16].

Проте існують відмінності у впливі деяких продуктів тваринного походження. Наприклад, виробництво ягняти викидає приблизно 39 кг еквівалента вуглекислого газу на кілограм їжі (кг CO<sub>2</sub> екв/кг) у порівнянні з меншими рівнями для яловичини (27 кг CO<sub>2</sub> екв/кг), сиру (14 кг CO<sub>2</sub> екв/кг)

та яйця (4,8 кг CO<sub>2</sub> екв/кг). Рослинна їжа зазвичай виробляє менше парникових газів протягом свого життєвого циклу, включаючи рис (4,1 кг CO<sub>2</sub> екв/кг), сухофрукти (3,6 кг CO<sub>2</sub> екв/кг), мигдаль (2,1 кг CO<sub>2</sub> екв/кг), тофу (2,0 кг CO<sub>2</sub> екв/кг), авокадо (0,9 кг CO<sub>2</sub> екв/кг), помідори (1,1 кг CO<sub>2</sub> екв/кг) та арахіс (0,6 кг CO<sub>2</sub> екв/кг) [6].

Землі, які використовуються як ріллі або пасовища, досягають приблизно половини вільної від льоду території Землі, сприяючи вимиранню видів. Оцінки свідчать про те, що 0,85 га/людину (8500 м<sup>2</sup> /особу) потрібно щороку для забезпечення середнього глобального раціону, причому на продукти тваринного походження припадає 87% землекористування. Лише м'ясо та риба спричиняють майже половину (44%) причин погіршення стану землі, головним чином через вирощування наземних кормових культур для великомасштабного тваринництва та аквакультури [6].

США, головний світовий виробник сільськогосподарської продукції, мають приблизно 391,5 млн. акрів (1,58 млн. кілометрів) орних угідь, приблизно п'яту частину загальної суші, і лише 20% з них використовуються для вирощування продуктів харчування, призначених для безпосереднього споживання людиною; до 42%, навпаки, використовується для годування худоби або експорту. Високоінтенсивне використання землі для монокультурного рослинництва призводить до швидкої ерозії та деградації ґрунтів [6].

### **1.3. Відновлення земель після сільськогосподарського впливу**

Екологічно чистим, економічно вигідним, досить ефективним методом є біоремедіація, яка є альтернативою більш дорогим і токсичним підходам, таким як хімічні та фізичні методи. При біодеградації видалення може бути

досягнуто шляхом використання мікробної активності мікроорганізмів. Мікроорганізми, в першу чергу бактерії або гриби перетворюють пестициди в менш складні сполуки, CO<sub>2</sub>, воду, оксиди або мінеральні солі, які можуть бути використані як джерело вуглецю, мінералу та енергії. У цих реакціях ферменти відіграють важливу роль, оскільки вони діють як каталізатори [8].

У підході *in situ* обробка здійснюється в забрудненій зоні, і зазвичай процес є аеробним. Основними методами *in situ* є природне ослаблення, біоаугментація, біостимуляція, біоventиляція та біорозпилення. У методах *ex situ* забруднений ґрунт видаляють із забруднених місць і транспортують в інші місця для обробки. Біореактори, компостування, та біосховища є обробкою *ex situ*. Підхід на місці полягає в обробці забрудненого ґрунту на прилеглій ділянці, тобто ґрунт видаляється з його початкового положення, але очищається по сусідству без будь-якого впливу через його транспортування [8].

Процес розкладання пестицидів можна розділити на три фази, які можна підсумувати так[8]:

Фаза 1: пестициди перетворюються на більш розчинні у воді та менш токсичні продукти за допомогою реакцій окислення, відновлення або гідролізу.

Фаза 2: продукти Фази 1 перетворюються на цукри та амінокислоти, які мають більшу розчинність у воді та меншу токсичність.

Фаза 3: перетворення метаболітів Фази-2 на менш токсичні вторинні кон'югати.

Сільськогосподарські ґрунти заселені багатьма грибами, які можна використовувати для біологічного розкладання пестицидів. До цього класу мікроорганізмів відносяться дріжджі, цвілеві та нитчасті гриби. Ці

мікроорганізми також можуть впливати на властивості ґрунту, змінюючи проникність ґрунту та здатність до іонного обміну [8].

Гриби можуть бути кращими деградаторами, ніж бактерії, завдяки своїм характеристикам, таким як специфічна біоактивність, морфологія росту та висока стійкість навіть при високих концентраціях забруднюючих речовин [8].

Компостування є екологічно чистим методом біостимуляції, який успішно використовується для біоремедіації забрудненого пестицидами середовища. Він передбачає мікробну деградацію органічної речовини в кисневих умовах для отримання стабільної речовини (компосту), яка використовується як органічне добриво. Використання компосту для біоремедіації підвищує та прискорює швидкість розщеплення пестицидів організмами, що розкладають пестициди [9].

Комбінація обробки соляризацією та озонуванням була ефективною для всіх досліджуваних пестицидів як у свіжому, так і у старому забрудненому ґрунті, однак, показники розпаду, для другого типу, були нижчими. Це низьке видалення свідчить про те, що у старих ґрунтах біодоступність пестицидів нижча [10].

### **Висновки до 1 розділу**

- Сільське господарство призводить до значних викидів парникових газів (до 30% від загальних викидів парникових газів).
- Зростання частки використаних земель під сільське господарство призводить до зменшення біорізноманіття.
- Використання пестицидів призводить до загибелі нецільових організмів, що призводить до зменшення біорізноманіття.

- Обробка пестицидами ґрунтів призводить до зменшення біорізноманіття ґрунтових мікроорганізмів
- Продукти розпаду пестицидів часто можуть бути більш токсичними, аніж їх попередники.
- Тваринництво-основний продуцент парникових газів (метану, закиси азоту, вуглекислого газу)
- Найбільша кількість парникових газів виділяється при виробництві червоного м'яса.
- Відновлювати землі після сільськогосподарського впливу можна шляхом мікробної деградації пестицидів
- Також, можна застосовувати методи компостування
- Використовують також соляризацію та озонування для зменшення кількості пестицидів у ґрунтах.

## РОЗДІЛ 2

### ЕКОЛОГІЗАЦІЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

#### 2.1. Історія екологізації сільського господарства

Історію розвитку органічного сільського господарства можна умовно поділити на кілька етапів – зародження, становлення та розвиток.

1 етап зародження органічного сільського господарства 1924-1970 р.

Великий вплив розвиток органічного сільського господарства зробив основоположник біодинамічного землеробства, філософ, езотерик, викладач Рудольф Штейнер (Німеччина). Його теорія розглядала людину як невід'ємну частину космічної рівноваги, яку вона повинна зрозуміти, щоб жити в гармонії з навколишнім середовищем. Тому необхідно встановити баланс між духовною та матеріальною сторонами життя. Біодинамічне землеробство знайшло відгук у сільгоспвиробників, а споживачі повірили в нього [14].

В 1928 були сформульовані перші стандарти для контролю якості об'єднання, була зареєстрована перша торгова марка Demeter. У цей час вже 1000 ферм займалися біодинамічним землеробством. Біодинамічний сільське господарство активно розвивається і має попит мільйонів споживачів по всьому світу. Цей напрямок сільського господарства близький до органічного сільського господарства, але не ідентичний. Незважаючи на те, що у нормативно-правовій базі країн ЄС біодинамічна продукція визнається органічною.

1940 - Вперше термін «органічне сільське господарство» ввів лорд Нортборн, вчений агроном Оксфордського університету. Поняття опубліковане в його книзі «З турботою про землю» (Looking to the Land).

Він спирався на теорію Рудольфа Штейнера про те, що фермери відіграють важливу роль у підтримці балансу між сільськогосподарським використанням землі та збереженням довкілля. Ідея органічного сільського господарства очищена від містики та пов'язана з більш зрозумілими та близькими більшості людей економічними, соціальними та політичними аспектами. У цій книзі вперше з'являється фотографія двох поєднаних долонь, на яких лежить земля, що символізує турботу людини про ґрунт. Цей образ досі залишається найпопулярнішим для ілюстрації екологізації сільського господарства [26].

Цього ж року один із основоположників органічного сільського господарства британський ботанік Альберт Говард (Albert Howard) публікує книгу «Сільськогосподарський заповіт», яка надала величезний вплив на багатьох учених та фермерів. Книга підсумовує більш як 25-річний досвід наукових досліджень. Говард, який багато років працював в Індії, описав негативний вплив хімічних добрив на здоров'я тварин і рослини, запропонував систему підтримки природної родючості ґрунтів, що базується на використанні компостів із рослинних залишків та гною. Він довів, що натуральні методи сільського господарства мають переваги. Вперше виникає науково обґрунтований взаємозв'язок між здоров'ям ґрунту, здоров'ям рослин та здоров'ям тварин [27].

У 1940 році в Японії, мікробіолог Масанобу Фукуок почав сумніватися в надійності інтенсивних практик ведення сільського господарства. На початку 1940 р. він залишив свою професію вченого-дослідника та присвятив своє життя розвитку органічних методів вирощування зерна. Його натуральний метод «нічогонероблення», при якому не застосовуються пестициди, мінеральні добрива, немає прополок від бур'янів і взагалі особливого догляду, нині відомий як сільське господарство Фукуокі. Це

також близький до органічного сільського господарства напрям, але не ідентичний. Найвідомішою науковою працею Масанобу Фукуока є книга «Революція однієї соломинки» (1975).

1958 - біодинамічний сільське господарство продовжує розвиватися. Створено кооператив виробників та переробників продукції Demeter.

1962 р. — вийшла у світ знаменита книга дослідниці, біолога Рейчел Карсон «Безмовна весна» («Silent Spring»), що ілюструвала згубний вплив пестицидів та інших хімічних сполук на здоров'я людей та навколишнє середовище, особливо на птахів. Весна безмовна, тому що птахи, що загинули від розпилення пестицидів, не співають.

Технічний прогрес після Другої світової війни прискорив інновації у всіх аспектах сільського господарства. Потрібно було багато дешевого продовольства. Це призвело до великих досягнень у механізації (включаючи великомасштабне зрошення), масового виробництва хімічних добрив та пестицидів. Зокрема, дві хімічні речовини, які були виготовлені у великій кількості для ведення війни, були перепрофільовані для використання у сільському господарстві у мирний час. Аміачна селітра стала надзвичайно дешевим джерелом азоту, і з'явився цілий ряд нових пестицидів-ДДТ, який започаткував епоху широкого використання пестицидів – так званої «зеленої революції», яка за своєю суттю не має нічого спільного з сучасним розумінням зелених агротехнологій. Це була масштабна хімізація сільськогосподарського виробництва. Коли хімічні добрива та хімічні пестициди були введені в масове сільгоспвиробництво, багато фермерів неохоче прийняли їх. У фермерів та вчених дослідників виникло багато питань щодо їх довгострокового впливу. Рейчел Карсон аргументовано відповіла на них.



У цей час у світі точилася запекла боротьба за обмеження до застосування особливо канцерогенних пестицидів, включаючи сумнозвісний ДДТ. Прихильникам органічного сільського господарства жорстко протистояли виробники хімічних пестицидів.

Рейчел Карлсон одна з перших порушила проблему резистентності до пестицидів і вказувала, що проблеми тільки зростатимуть з часом. «Безмовна весна» стала лобістським проривом, що забезпечує право на життя та визнання на державному рівні екологічних систем землеробства, насамперед органічного сільського господарства. Вона надовго забезпечила попит на органічні продукти, представивши людям наукові докази шкоди здоров'ю та навколишнього середовища інтенсивного хімізованого виробництва [28].

У 1970-х роках, після того, як у суспільстві було визнано необхідність розвитку органічного сільського господарства, настав етап, пов'язаний із формуванням стандартів виробництва, систем сертифікації та державного регулювання галузі. Органічна промисловість вела боротьбу за визначення, що вважати органічними продуктами харчування, за стандартизацію допустимих методів виробництва та встановлення вимог до ведення обліку, процедур маркування та методів забезпечення їх дотримання, за забезпечення можливості глобальної торгівлі органічною продукцією.

1967 – створено перший органічний стандарт Ґрунтової асоціації Великобританії Soil Association. Основою для стандарту став двадцятирічний науковий експеримент порівняно трьох систем землеробства – органічної, інтегрованої та хімічної. Це були технічні умови контролю якості та походження продукції, які давали юридично обов'язкову гарантію для споживачів із глибоким розумінням процесу виробництва органічної продукції [29].

1971 - створення об'єднання виробників органічної продукції Німеччини і Південного Тиролю, ресторанів, що використовують органічні продукти - Bioland. Це одне із найбільших професійних об'єднань виробників органічної продукції. На першому етапі фермери допомагали фермерам перейти на органічне сільське господарство і згодом вирости на повний сервіс «усі з одних рук» — агротехнології, консалтинг, бренд, сертифікація, переробка, збут, лобіювання та просування.

1972 рік – створення Міжнародної федерації рухів за органічне сільське господарство IFOAM, що стала зонтичною для провідних світових органічних рухів (включаючи «Demeter International», Soil Association, Bioland та ін.). Ще одним доказом стійкості органічного сільського господарства є консолідація зусиль органічних рухів по всьому світу в одному русі за органічне сільське господарство IFOAM. Це наднаціональна, аполітична структура, головною метою якої є розвиток органічного сільського господарства. Сьогодні в IFOAM перебувають понад 750 організацій зі 108 країн світу. Союз органічного землеробства є учасником IFOAM [30].

1973 - запущена перша система органічної сертифікації Soil Association, яка залишається донині однією з найбільш відомих і авторитетних.

1974 – 1979 рр.- Перші законодавчі акти органічного сільського господарства США – у штатах Орегон (1974 р.) і Каліфорнія (1979 р.). На рівні держави у США положення про органічне землеробство було введено в дію у 1979 році. Міністерство сільського господарства Сполучених Штатів Америки (USDA) провело великомасштабне дослідження органічного землеробства у 69 органічних фермах 23 штатів та опублікувало звіт та рекомендації щодо органічного землеробства. У доповіді було дано визначення та керівні принципи для органічного землеробства, а також

запропоновано план дій щодо розвитку органічного землеробства. Публікація цієї доповіді стала важливою віхою у законодавстві та розвитку органічного землеробства у США. Згодом було створено безліч органів із сертифікації, асоціацій, які відіграли важливу роль у стандартизації виробництва та ринку органічних продуктів, а також у просуванні наукових досліджень та підвищенні обізнаності споживачів. Поступово формувалася державна система сертифікації органічної продукції NOP USDA ORGANIC.

На початку 1992 року єдина аграрна політика країн ЄС вкотре коригувалась і до її програм вперше було включено органічне сільське господарство з відповідним фінансуванням. Це стало важливою точкою зростання органічного сільського господарства.

Коли ЄС розробив національний органічний стандарт, асоціації виробників органічної продукції критикували новий стандарт, тому що він давав послаблення порівняно з їхніми стандартами. В результаті було досягнуто домовленості, і асоціації привели свої стандарти у відповідність до стандартів ЄС, щоб їхня продукція визнавалася в національній системі сертифікації. При цьому вимоги власних систем сертифікації професійних об'єднань – Bioland, Demeter, Naturland залишилися суворішими, з додатковими вимогами, що викликає до них підвищену довіру споживачів. Згодом з'явився єдиний державний знак органічної продукції країн ЄС, який поряд із знаком USDA ORGANIC є найбільш уживаним у всьому світі.

Органічне сільське господарство у всьому світі вступило в нову стадію зростання у 1990-х роках. Було засновано великі торгові організації для органічних продуктів - Organic Trade Assosiations ОТА, Australian Organic, Італійська асоціація органічного сільського господарства FederBio та багато інших.

З кінця 1990-х років все більшого значення набуває державна підтримка виробників органічної продукції, що дозволяє знизити вартість органічної продукції. Удосконалення нормативно-правової бази триває багато років. З урахуванням практики контролю якості органічної продукції, виявлення конкретних моментів, які потребують змін. Споживачі хочуть бути впевненими, що вони платять саме за органічні продукти, виготовлені у суворій відповідності до правил. У розвинених країнах, де найбільше споживають органічну продукцію, спостерігається дефіцит органічних сільгоспугідь, за рахунок чого починає активно розвиватися виробництво органічної продукції третіх країнах.

2005 рік – на Генеральній асамблеї IFOAM затверджено принципи органічного сільського господарства. Ціль принципів – ідейна єдність руху органічного сільського господарства в усьому світі.

2020 рік – органічне сільське господарство упродовж двадцяти років – провідний світовий тренд. Щорічне зростання ринку складає близько 10%. [31]

2020 рік – в єдиній узгодженій аграрній політиці країн ЄС після 2020 року, органічне сільське господарство, поряд з агролісівництвом та точним землеробством, входить до обов'язкових еко-практик. Усі фермери будуть зобов'язані дотримуватися більш високих екологічних стандартів (на вибір із запропонованих), навіть найменших.

## **2.2. Кількість розораних земель в Україні**

Станом на 2019 рік Україна посіла перше місце в рівні розораності земель, з позначкою в 56,1%. Далі слідує Молдова із значенням 53,7, Польща

зі значенням 35,7, Німеччина зі значенням 34, Франція-33,5, Нідерланди-31, білорусь-27,1, великобританія-25,8, США-16,9, Австрія-16,4.



Рис. 2.1. Рівень розораності земель різних країн [11]

### 2.3. Проблема з використанням пестицидів в Україні

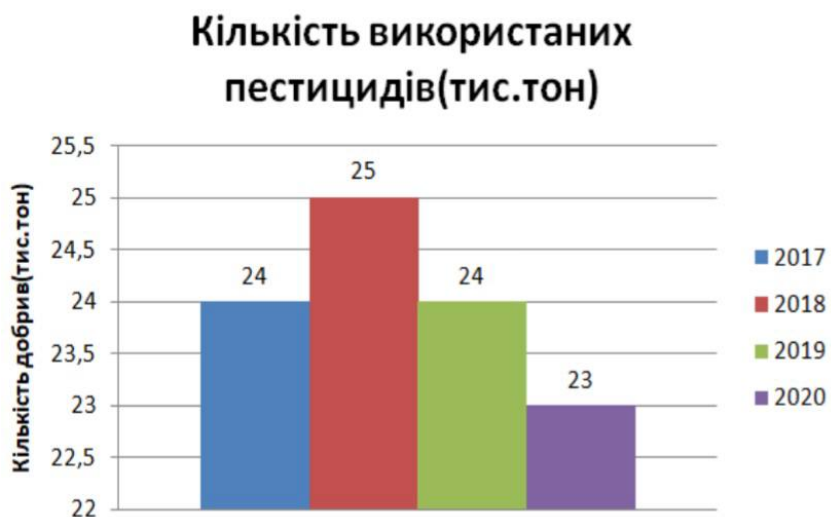


Рис. 2.2. Використання пестицидів в Україні [12]

Існує певна динаміка використання пестицидів в Україні. В 2017 цей показник склав 24 тис. тонн, в 2018 - 25 тис. тонн, в 2019-24 тис. тонн, в 2020-23 тис. тонн.

## **Висновки до розділу 2**

- Зародження розвитку органічного сільського господарства почалося ще у далекому 1924 році.
- Термін «органічне сільське господарство» у 1940 році ввів лорд Нортборн.
- У 1962 році біолога Рейчел Карсон своєю книгою “Безмовна весна” привернула увагу світу до негативного впливу пестицидів на здоров’я людей та на стан навколишнього середовища.
- У 1970-х роках настав етап формування стандартів виробництва, систем сертифікації та державного регулювання сільськогосподарської галузі.
- На початку 1992 року до програм аграрної політики ЄС було включено органічне сільське господарство з відповідним фінансуванням .
- Україна займає перше місце по розораності земель. Цей показник становить 56,1%
- З 2017 по 2020 рік використання пестицидів коливалося з 23-до 25 тис. тонн на рік.
- В середньому, в рік, використовується 24 тис. тонн пестицидів в Україні.

## РОЗДІЛ 3

### ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

#### 3.1. Світовий досвід екологізації сільського господарства

Існує загальна згода з тим, що сільське господарство має швидко і радикально змінюватися, щоб стабільно задовольнити майбутній попит на продовольство. Прогнозується, що до 2050 року попит на продукти харчування зросте на 50%, тому існує значний тиск на підвищення продуктивності. Однак підвищення продуктивності має бути узгоджено з екологією, оскільки інтенсивне сільське господарство вже має руйнівний вплив на функціонування системи Землі через зміни біогеохімічного циклу, викиди парникових газів і різку втрату біорізноманіття. Крім того, як продемонструвала пандемія COVID-19, сільське господарство має бути стійким до неочікуваних потрясінь. Агроєкологія виникла як наукова галузь, набір сільськогосподарських практик і суспільний рух, який цілісно спрямований на трансформацію сільського господарства для вирішення вищезгаданих проблем [22].

Агроєкологія використовує екологічні концепції та принципи для проектування та управління сільськогосподарськими системами. Агроєкологія почалася в першій половині двадцятого століття як щось середнє між агрономією та екологією, вивчаючи екологію сільськогосподарських культур і шкідників у польовому масштабі. З цих скромних початків наукова дисципліна агроєкології стала ширшою, міждисциплінарною та все більш популярною. У відповідь на Зелену

революцію фермери почали впроваджувати «агроекологічні практики», такі як мульчування, довші та більш диверсифіковані сівозміни та проміжні культури. З 1980-х років агроекологія розвивалася з метою створення альтернативи капіталомісткому промислового сільському господарству та розширення можливостей дрібних фермерів. Агроекологічні рухи сьогодні охоплюють різноманітні екологічно чисті заходи сільського господарства, такі як практики збереження ґрунту, пермакультура або органічне сільське господарство. Однак агроекологія також має сильні корені в самовизначенні, продовольчому суверенітеті та правах фермерів. Наприклад, Zero Budget Natural Farming — це набір методів ведення сільського господарства та селянський рух, що охоплює кілька мільйонів фермерських сімей в Індії, який зосереджується на зменшенні боргів фермерів шляхом заміни хімічних засобів традиційними знаннями та екологічними процесами. У 2014 році Продовольча та сільськогосподарська організація Об'єднаних Націй (FAO) прийняла агроекологію як спосіб цілісної трансформації продовольчих систем і активно просуває агроекологію в глобальних і національних стратегіях сільськогосподарського розвитку [22].

Було показано, що системи ведення сільського господарства, які інтегрують агроекологічні практики, мають потенціал для покращення показників добробуту домогосподарств, включаючи різноманітність дієти та харчування, одночасно значно зменшуючи негативні зовнішні ефекти сільського господарства. Наприклад, довгострокове дослідження, зосереджене на програмі агролісомеліорації в Кенії, виявило позитивний вплив цього втручання на накопичення активів домогосподарств, особливо в домогосподарствах, очолюваних жінками [23].

Тим не менш, дрібні фермери та інші відповідні зацікавлені сторони можуть не знати або недооцінювати вигоди, які вони отримують від роботи з



агроекологією. Наскрізна особливість агроекологічної практики в контексті розвитку сільської місцевості створює потенціал для сприяння досягненню багатьох Цілей сталого розвитку, включаючи зменшення бідності, забезпечення збереження, відновлення та сталого використання землі, покращення якості води, покращення доброго здоров'я та добробуту, зменшення нерівності, відповідальне споживання та виробництво, а також кліматичні дії. Це особливо актуально, коли багато найбільш вразливих людей у світі є дрібними фермерами в тропіках [23].

Стале сільське господарство прагне задовольнити зростаючий попит на продукти харчування, корми та клітковину для майбутніх поколінь, одночасно мінімізуючи вплив на навколишнє середовище та економічні ризики для фермерів. Щоб досягти цього, стійкі сільськогосподарські системи повинні бути ресурсоефективними, стійкими та продуктивними, якщо виміряти їхні соціальні, екологічні та економічні аспекти [13].

На практиці перехід до екологічного сільського господарства вимагає прийняття управлінських структур, які б дозволили балансувати між цілями кожного процесу та враховувати (несподівані) взаємодії між ними. Поки що існуюча сільськогосподарська політика не змогла вирішити проблеми, викликані інтенсифікацією сільського господарства, і адаптувати управлінські рішення на рівні ферми [13].

Зокрема, щоб уникнути прогалин в інноваційних процесах, сільськогосподарські експерименти на введення екологічних практик повинні враховувати роль місцевої природи та навколишнього середовища, що створює багато перешкод у реальному експерименті [13].

Наприклад, часто існує невідповідність між просторовим масштабом екологічних процесів і масштабом сільськогосподарського менеджменту в плануванні експерименту та зборі даних. Екологічні процеси, такі як

транспортування води та поживних речовин або ландшафтні структури, важливі для біорізноманіття, охоплюють широкий діапазон просторових масштабів, тоді як управління сільським господарством діє на рівні поля та ферми[13].

Екологічне господарство вимагає доповнення або заміни синтетичних матеріалів «екологічно чистими». Для цього часто потрібен перехід від реактивних до превентивних заходів, таких як диверсифікація виробництва сільськогосподарських культур, які, як показано, покращують численні екосистемні послуги, такі як запилення та кругообіг поживних речовин, без шкоди для врожаю [15].

Досягнення в галузі захисту рослин також дозволили розробити численні методи, альтернативні хімічним пестицидам, хімічним добривам і антибіотикам в агроекосистемах, керуючись головним чином принципами інтегрованої боротьби зі шкідниками. Протягом багатьох років вони принесли важливі нові застосування та історію успіху, такі як широке використання певних хімічних речовин для моніторингу та боротьби з багатьма комахами-шкідниками, використання мікроорганізмів як агентів біоконтролю або посилення біологічного контролю дією природних ворогів [15].

Ці методи, у поєднанні з застосуванням відбору проб, моніторингу, можуть підвищити врожайність і мінімізувати негативний вплив інтенсивного сільського господарства, такий як втрата середовища проживання, зниження родючості ґрунту та отруєння пестицидами нецільових видів [15].

Біоінокулянти, що складаються з живих або сплячих мікробів, які здатні сприяти росту та розвитку рослин, називаються PGPM (мікроорганізми, що сприяють росту рослин) і мають великий потенціал не

лише для підвищення врожайності рослин, але й для рекультивації деградованих ґрунтів [16].

Біоінокулянти є економічно ефективними та безпечними для навколишнього середовища підходами в сільському господарстві. Першим етапом створення біоінокулянту є виділення та ідентифікація мікроба. Необхідно перевірити подальший потенціал певного мікроорганізму для стимулювання росту рослин, і цю здатність слід підтвердити в лабораторних і польових умовах. Крім того, слід також визначити потенційні ризики для інших організмів, таких як тварини та природні мікробіоми ґрунту. Найвідомішими прикладами PGPM є мікоризні гриби та бактерії, що належать до *Rhizobium*; однак мікроорганізми, що стимулюють ріст рослин, зустрічаються серед різноманітних таксонів бактерій, грибів і водоростей [16].

Одним із основних недоліків застосування біоінокулянтів є той факт, що кількість біоінокулянтів, випробуваних у лабораторних/тепличних умовах, не витримують польових випробувань. Це здебільшого тому, що мікроби, які потрапляють у навколишнє середовище, повинні конкурувати за нішу з місцевими мікроорганізмами, щоб досягти достатньої чисельності. Здатність інтродукованих мікробів виживати та процвітати є змінною та значною мірою залежить від умов навколишнього середовища, включаючи температуру, кількість опадів і тип ґрунту, а також від взаємодії з рослиною-господарем та іншими організмами [16].

Хорошим прикладом цієї залежності є польове випробування, яке показало, що сприяння росту рослин субтропічними штамми *Azotobacter chroococcum* і *Azospirillum brasilense* спостерігалось лише при використанні в такому ж типі клімату, а не в альпійському регіоні з помірним кліматом. Крім того, було продемонстровано, що високе біорізноманіття рідного ґрунтового

мікробіому негативно впливає на виживаність застосованих біоінокулянтів, тобто існує негативна кореляція між різноманітністю ґрунтових мікробів та виживаністю інтродукованого штаму [16].

Мікроорганізми колонізують не лише коріння, але й інші тканини та органи рослин, включаючи стебла, листя, квіти, насіння та плоди. Надземна частина рослин, колонізована мікробами, називається філосферою, тоді як ризосфера — це ґрунт, що прилягає до кореня. На відміну від ризосфери, надземні частини рослин бідні на воду і поживні речовини. Лише невелика кількість мікроорганізмів, які досягають поверхні рослин, потраплять на потрібні місця та матимуть умови для виживання. Як наслідок, кількість мікроорганізмів, що живуть у ризосфері, набагато більше, ніж у філосфері. Мікроби присутні на кожному етапі розвитку рослини, від насіння до повністю розвиненої рослини, що виробляє нове покоління насіння. Деякі мікроорганізми живуть на поверхні органів рослин, тобто епіфіти, тоді як інші здатні колонізувати внутрішні тканини рослин, тобто ендofіти [16].

Мікроорганізми, що стимулюють ріст і розвиток рослин за допомогою різних прямих і непрямих механізмів. Продукція фітогормонів, асиміляція азоту, солюбілізація та мінералізація макро- та мікроелементів, а також модуляція ендогенного рівня етилену в тканинах рослин є прикладами прямого механізму. Прикладами непрямих механізмів є пригнічення росту патогенів через антибіоз, секреції літичних ферментів і конкуренція, наприклад, через виробництво сидерофорів, індукція/інгібування експресії генів рослин, індукція імунної системи рослин. реакція та маніпуляція мікробіомним складом рослин [16].

Надмірне використання агрохімікатів у сільському господарстві призвело до негативних наслідків для навколишнього середовища, вплинуло на здоров'я людей і призвело до погіршення здоров'я та родючості ґрунту.

Крім того, шкідливі мікроби (*Ralstonia* sp., *Xanthomonas* sp. і *Rhizoctonia* sp.), які спричиняють захворюваність, стають більш розповсюдженими при надмірному використанні хімічних речовин. Таким чином, нинішня тенденція рухається до зелених методів сільського господарства, де корисні рослинні мікроби використовуються для покращення виробництва сільськогосподарських культур і зниження захворюваності. Десятиліття досліджень показали, що мікроби здатні пригнічувати захворювання, а також пом'якшувати абіотичний стрес рослин. Вони брали участь у регулюванні здоров'я ґрунту, підтримці циклів поживних речовин у наземних організмах і пом'якшення негативного впливу зміни клімату. Разом ці ознаки роблять корисні мікроби придатною мішенню для підвищення врожайності [17].

Деякі важливі групи мікроорганізмів, які вирішують, - це бактерії, що стимулюють ріст рослин (PGPB/PGPR). Ця група організмів сприяє здоров'ю рослин і врожайності шляхом виробництва гормонів і ферментів. PGPB включають мікроорганізми, які мають здатність контролювати захворювання, і були позначені як агенти біоконтролю. PGPB інгібують патогени, знижуючи доступність заліза. Крім того, прогрес у рослинній біотехнології призвів до розвитку стійких культур шляхом молекулярної селекції або трансгенних сортів, які несуть гени, стійкі до хвороб, мають кращий вміст поживних речовин і поглинання, а також різні інші модифікації. Трансгеніка є екологічно чистим рішенням проблеми біотичних стресових факторів, з якою стикається сільське господарство. Постгеномна ера пропонує відкриті можливості для розвитку кращих штамів або трансгенних ліній, що несуть гени PGPB як для стійкості до абіотичного, так і до біотичного стресу [17].

Абіотичні стресори впливають на фізіологію та метаболізм рослин. Хоча одні рослини здатні акліматизуватися до стресу, інші його долають. PGPB відіграють значну роль у контролі захворювання через секрецію

гормонів і ферментів. RGPB виділяють вторинні метаболіти, які забезпечують акліматизацію рослин до стресу [17].

Кілька родів *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Bacillus* і *Enterobacter* були визначені як хороші кандидати для управління абіотичним стресом. Мікроби — це організми, що швидко розвиваються, швидко адаптуються до навколишнього середовища шляхом виробництва біоплівки і екзополісахаридів (EPS), через адсорбцію осмолітів або залишаючись у стані спокою. Під цим стресом рослини також виробляють гормони, які допомагають підтримувати ріст і розвиток. Наприклад, у відповідь на посуху вид *Azospirillum* розвиває підвищений рівень АБК. В умовах високої солоності RGPB має здатність поглинати та зберігати осмоліти в клітині без будь-яких негативних наслідків, оскільки EPS, що виробляється цими ізолятами, зв'язує катіони, що призводить до тургорності мікробної клітини [17].

З часів виникнення сільського господарства внесення органічної речовини використовувалося для компенсації експорту поживних речовин і відновлення родючості ґрунту. З 1950-х років ця практика поступово відміняється на користь синтетичних добрив, які ефективно підвищують урожайність. Проте після 70 років практики глобальні оцінки показують, що неорганічні добрива значною мірою сприяють викидам парникових газів через їхнє виробництво, транспортування та використання, їхній потенціал вимивання та, отже, їхній вплив на евтрофікацію та небезпеку для здоров'я [18].

Вони можуть бути джерелом забруднення, зокрема фосфорні добрива, які часто містять значну кількість кадмію, ртуті та свинцю. Існує значна частина літератури, яка вказує на те, що тривале використання мінеральних добрив загрожує родючості ґрунту, головним чином через зниження вмісту

органічної речовини (SOM) у ґрунті. Створення SOM є однією з головних цілей управління ґрунтами в екологічних методах землеробства. SOM має першочергове значення для підтримки фізичної, хімічної та біологічної родючості ґрунту, а отже, і сталого сільськогосподарського виробництва. Він живить харчову мережу ґрунту, збільшує здатність катіонного обміну, покращує структуру ґрунту та здатність утримувати воду [18].

Сотні тисяч фермерів так чи інакше керують своїми фермами за допомогою агроекологічних практик, щоб підвищити власну продуктивність і засоби до існування або отримати привілейований доступ до ринків із сертифікатами. Ці практики включають, серед іншого, відновлювальне природоохоронне землеробство, органічне сільське господарство, агролісомеліорацію, пермакультуру, агро-лісо-пасовищні системи та стале скотарство на пасовищах [19].

Ще більша кількість фермерів приймає лише один або кілька вибраних методів агроекології, таких як використання інтегрованих поживних речовин і боротьби зі шкідниками, запровадження напівприродних середовищ існування на фермі, застосування нульового обробітку сільськогосподарських культур або прийняття сталого управління річковим басейном і ґрунтовими водами [19].

Деякі фермери використовують біодобрива та біозахисні засоби замість агрохімікатів, застосовують проміжні культури та покривні культури для збільшення коефіцієнта еквівалента землі (LER) і залучають точне землеробство та кліматично розумне сільське господарство. Тим не менш, повністю агроекологічні ферми залишилися нішею. Класична роль ніш — це «захисний простір» або притулок, де можна випробувати майбутні рішення та нові ідеї [19].

Незважаючи на те, що агроекологічні методи були успішно впроваджені на багатьох фермах у всьому світі, і такі практики, як ресурсозберігаюче сільське господарство, продовжують поширюватися на все більше ферм і більше гектарів, вони не стали основними досі. Найбільш помітними перешкодами для впровадження агроекології є той факт, що вона наразі невідома громадськості; часовий проміжок між впровадженням агроекологічних практик і спостереженням позитивних результатів; слабкі знання та системи консультування; трансакційні витрати; непослідовність політики; вирішальний дефіцит координації на рівні ландшафту, системи стимулів у дослідженнях і компенсації за зниження врожайності; і необхідність посилення аспекту достатності в контексті сталого розвитку [19].

У звіті HLPE було встановлено, що для ефективного та сталого вирішення проблем продовольчої безпеки та харчування недостатньо зосереджуватися лише на технологічних рішеннях та інноваціях чи поступових втручаннях. Трансформація продовольчої системи потребує інклюзивних форм управління інноваціями; спільне виробництво та обмін інформацією та знаннями між спільнотами та мережами; та відповідальні інновації, які спрямовують інновації на соціальні проблеми [19].

Враховуючи цілісний підхід, трансформація агроекологічних практик і систем відбувається в різних масштабах і вимірах, від управлінських рішень на фермах до складних і нестабільних трансформацій, що є результатом сукупності рішень різних учасників у більш широкому ландшафті. Було введено термін «домени трансформації», в рамках якого вони описали фактори, динаміку, структури та процеси, які обмежують або дозволяють трансформацію в переходах до агроекології [19].



### 3.2. Оптимальні рішення та впровадження сучасних біотехнологій в сільське господарство

Рослини, вільні від хвороб, є дуже практичним застосуванням біотехнології, вони можуть бути отримані методом мікророзмноження. Одним із прикладів таких рослин є банан. Зазвичай банани вирощують у країнах, де вони стають основним джерелом доходу/роботи та/або їжі. Мікророзмноження — це спосіб регенерації вільних від хвороб саджанців бананів із тканин здорових бананових рослин. Він має всі можливі переваги як революційна техніка, яка є відносно недорогою та простою у використанні [20].

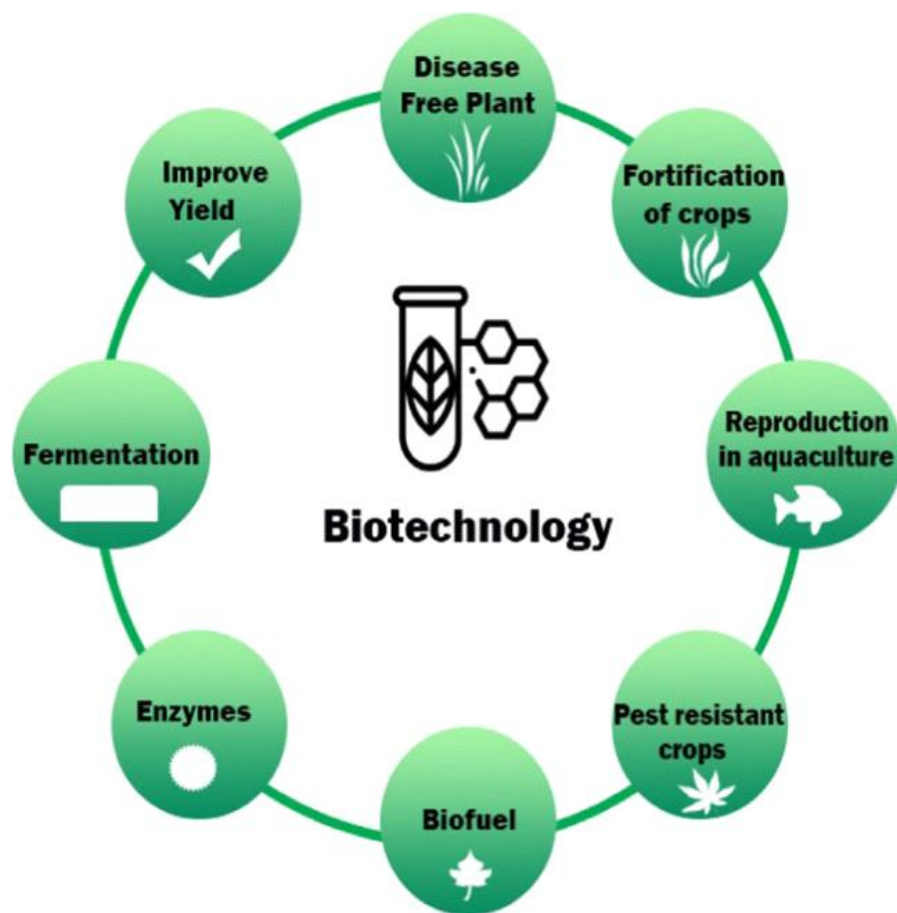


Рис. 3.1. Застосування біотехнологій у сільському господарстві [20]

У країнах, що розвиваються, або країнах, де є великий дефіцит їжі, збагачені культури стають чудовим джерелом їжі, доповненої поживними речовинами для недоїдаючих дітей. Одним із прикладів таких збагачених культур є «Протато»[20].

Ця генетично модифікована картопля широко культивується та використовується в Індії та має більше білка ніж звичайна картопля. Крім того, ця генетично модифікована картопля також містить значні кількості всіх незамінних амінокислот, таких як лізин і метіонін. Цей «Protato» може бути дуже поживним джерелом їжі в країнах, де картопля є основним продуктом харчування. Ще одним прикладом таких культур є золотистий рис. Цей генетично модифікований рис має більш високий вміст бета-каротину.

Зерна і листя вігні прийнято використовувати як гарнір або приправу. Коров'ячий горох споживають як основний продукт харчування в різних країнах. У Танзанії вирощено генетично модифіковані сорти вігні [20].

Молоко споживають у всьому світі як корисний продукт харчування з високою харчовою цінністю. Гіпофіз виділяє бичачий соматотропний гормон, який збільшує вироблення молока. Раніше телят забивали, щоб витягти цей гормон з їхнього мозку. Тим не менш, цей метод призводить до меншої кількості гормону. Вчені використовували *Escherichia coli* для введення в неї гена з кодованим бичачим соматотропіном. Тепер цей гормон призводить до виробництва більшої кількості гормону [20].

Цей гормон збільшує вироблення молока на 10-12%. У 2050 році населення світу становитиме дев'ять мільярдів. Отже, на одній і тій же землі буде потрібно більший урожай. Потенційно біотехнологія є найкращою технологією для боротьби з різними проблемами врожайності їжі. Більший рівень голоду та бідності спостерігається в Африці. Недоїдання і голод

викликає наслідки при таких захворюваннях, як рахіт. Ця хвороба призводить до більшої смертності. Африка може позбутися голоду, хвороб, недоїдання та голоду за допомогою максимально можливого використання біотехнологій. Це може покращити рівень здоров'я та знизити рівень смертності. Три країни

Африки: Єгипет, Південна Африка та Буркіна-Фасо вже отримали прибуток завдяки біотехнологічній адаптації численних методів вирощування [20].

Нові методи селекції рослин (НПБТ) складають інструментарій сільськогосподарської біотехнології, який використовується в харчовому та сільськогосподарському секторах для генетичного поліпшення сортів рослин і популяцій тварин, характеристики та збереження генетичних ресурсів, діагностики хвороб рослин і тварин та інших цілей [21].

Вони пропонують різноманітні наукові підходи до пом'якшення глобальної продовольчої безпеки та наслідків зміни клімату, які прискорюються надзвичайно швидкими темпами. Майже десять років тому було підраховано, що до 2050 року світове виробництво продуктів харчування має подвоїтися, щоб задовольнити потреби населення, яке постійно зростає [21].

Крім того, пандемія COVID-19 і геополітична нестабільність серйозно загрожували продовольчій безпеці в усьому світі. Фермери можуть застосувати інтегрований набір інструментів, таких як біотехнологічні культури, які є стійкими до клімату та можуть краще протистояти різним стресам, включаючи посуху, спеку та повені [21].

На сьогоднішній день 44 країни надали регулюючі дозволи на 385 подій генетичної модифікації для використання в харчових продуктах (пряме використання або добавка), що охоплює 24 види рослин. Найбільш модифікованими рослинами (за кількістю подій генетичної модифікації) є

кукурудза (*Zea mays*), бавовник (*Gossypium hirsutum* L.), картопля (*Solanum tuberosum* L.), соя (*Glycine max* L.) та аргентинський ріпак (*Brassica napus*) Найбільш широко націленими ознаками є стійкість до гербіцидів і стійкість до комах за якими йдуть модифікована якість продукції система контролю запилення стійкість до хвороб абіотичний стрес толерантність зміна росту/врожайності і стійкість до нематод [21].

Генетично відредаговані культури мають потенціал для зниження як використання пестицидів, так і шкоди ґрунту і скорочення викидів парникових газів (ПГ). Було повідомлено що завдяки використанню генетично модифікованих (ГМ) культур (стійких до гербіцидів і комах) у сільському господарстві відбулося значне скорочення загальної кількості використовуваних гербіцидів і пестицидів . Як наслідок, вплив цих хімічних речовин на навколишнє середовище зменшився на 18,5%. Крім того, значне скорочення споживання палива (на 920 мільйонів літрів) і методів обробки ґрунту (що еквівалентно видаленню 15,27 мільйонів автомобілів з доріг) призвело до значного скорочення викидів парникових газів із площ ГМ-культур [21].

### **Висновки до розділу 3**

Використання біоінокулятив замість пестицидів. Біоінокуляти покращують процеси росту та розвитку рослин, не є токсичними для організмів навколишнього середовища.

- Використання біоінокулятив обмежено, оскільки це живі мікроорганізми, які конкурують у середовищі, і можуть не витримати конкуренції.

- Використання біопестицидів, як заміника пестицидів.

- Перехід до агроекологічних практик.
- Використання ГМ-культур, які не потребують вживання пестицидів, на відміну від не ГМ-культур.

## ВИСНОВКИ

Проведене дослідження дає можливість зробити наступні висновки:

- До 30% від загальних викидів парникових газів випадають на сільське господарство. Найбільша кількість парникових газів виділяється при виробництві червоного м'яса.

- Використання пестицидів призводить до загибелі нецільових організмів, що призводить до зменшення біорізноманіття.

- Продукти розпаду пестицидів часто можуть бути більш токсичними, аніж їх попередники.

- Відновлювати землі після сільськогосподарського впливу можна такими шляхами:

- мікробна деградація пестицидів;
- метод компостування;
- соляризація;
- озонування.

- Термін «органічне сільське господарство» у 1940 році ввів лорд Нортборн.

- У 1962 році біолога Рейчел Карсон своєю книгою «Безмовна весна» привернула увагу світу до негативного впливу пестицидів на здоров'я людей та на стан навколишнього середовища.

- Україна займає перше місце по розораності земель. Цей показник становить 56,1%

- З 2017 по 2020 рік використання пестицидів коливалося з 23-до 25 тис. тонн на рік.

- Використання біоінокулятив замість пестицидів. Біоінокуляти покращують процеси росту та розвитку рослин, не є токсичними для організмів навколишнього середовища.

- Використання біоінокулятив обмежено, оскільки це живі мікроорганізми, які конкурують у середовищі, і можуть не витримати конкуренції.

- Оптимальними рішеннями для впровадження сучасних біотехнологій є:

- використання біопестицидів, як заміника пестицидів.

- перехід до агроекологічних практик.

- використання ГМ-культур, які не потребують вживання пестицидів, на відміну від не ГМ-культур.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Barros-Rodríguez A, Rangseekaew P, Lasudee K, Pathom-Aree W, Manzanera M. Impacts of Agriculture on the Environment and Soil Microbial Biodiversity. *Plants* (Basel). 2021 Oct 28;10(11):2325. doi: 10.3390/plants10112325. PMID: 34834690; PMCID: PMC8619008
2. Tudi M, Daniel Ruan H, Wang L, Lyu J, Sadler R, Connell D, Chu C, Phung DT. Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Jan 27;18(3):1112. doi: 10.3390/ijerph18031112. PMID: 33513796; PMCID: PMC7908628.
3. Pathak VM, Verma VK, Rawat BS, Kaur B, Babu N, Sharma A, Dewali S, Yadav M, Kumari R, Singh S, Mohapatra A, Pandey V, Rana N, Cunill JM. Current status of pesticide effects on environment, human health and its eco-friendly management as bioremediation: A comprehensive review. *Front Microbiol*. 2022 Aug 17;13:962619. doi: 10.3389/fmicb.2022.962619. PMID: 36060785; PMCID: PMC9428564.
4. Aktar MW, Sengupta D, Chowdhury A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdiscip Toxicol*. 2009 Mar;2(1):1-12. doi: 10.2478/v10102-009-0001-7. PMID: 21217838; PMCID: PMC2984095.
5. Philip Robertson G, Gross KL, Hamilton SK, Landis DA, Schmidt TM, Snapp SS, Swinton SM. Farming for Ecosystem Services: An Ecological Approach to Production Agriculture. *Bioscience*. 2014 May 1;64(5):404-415. doi: 10.1093/biosci/biu037. Epub 2014 Apr 8. PMID: 26955069; PMCID: PMC4776676.



6. Alan Espinosa-Marrón Environmental Impact of Animal-Based Food Production and the Feasibility of a Shift Toward Sustainable Plant-Based Diets in the United States *Front. Sustain.*, 04 May 2022

7. Aleksandrowicz L, Green R, Joy EJ, Smith P, Haines A. The Impacts of Dietary Change on Greenhouse Gas Emissions, Land Use, Water Use, and Health: A Systematic Review. *PLoS One*. 2016 Nov 3;11(11):e0165797. doi: 10.1371/journal.pone.0165797. PMID: 27812156; PMCID: PMC5094759.

8. Raffa CM, Chiampo F. Bioremediation of Agricultural Soils Polluted with Pesticides: A Review. *Bioengineering (Basel)*. 2021 Jul 2;8(7):92. doi: 10.3390/bioengineering8070092. PMID: 34356199; PMCID: PMC8301097.

9. Lee-Ann Ataikiru T, Ajuzieogu CA. Enhanced bioremediation of pesticides contaminated soil using organic (compost) and inorganic (NPK) fertilizers. *Heliyon*. 2023 Dec 1;9(12):e23133. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e23133. PMID: 38144266; PMCID: PMC10746455.

10. Martínez-Escudero CM, Garrido I, Ros C, Flores P, Hellín P, Contreras F, Fenoll J. Remediation of pesticides in commercial farm soils by solarization and ozonation techniques. *J Environ Manage*. 2023 Mar 1;329:117062. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.117062. Epub 2022 Dec 20. PMID: 36549052.

11. <https://kirovohradska.land.gov.ua/vyznachenno-reitynh-krain-lideriv-za-rivnem-rozoranosti-zemel-v-sviti/>

12. <https://superagronom.com/news/13330-opublikovano-statistiku-vikoristannya-zzr-v-ukrayini-ta->

13. Pereponova A, Grahmann K, Lischeid G, Bellingrath-Kimura SD, Ewert FA. Sustainable transformation of agriculture requires landscape experiments. *Heliyon*. 2023 Oct 24;9(11):e21215. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e21215. PMID: 37964818; PMCID: PMC10641153.

14. Рудольф Штайнер URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%83%D0%B4%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%84\\_%D0%A8%D1%82%D0%B0%D0%B9%D0%BD%D0%B5%D1%80](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%83%D0%B4%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%84_%D0%A8%D1%82%D0%B0%D0%B9%D0%BD%D0%B5%D1%80)

15. Knapp J, Sciarretta A. Agroecology: protecting, restoring, and promoting biodiversity. *BMC Ecol Evol.* 2023 Jul 4;23(1):29. doi: 10.1186/s12862-023-02140-y. PMID: 37403030; PMCID: PMC10318805.

16. Antoszewski M, Mierek-Adamska A, Dąbrowska GB. The Importance of Microorganisms for Sustainable Agriculture-A Review. *Metabolites.* 2022 Nov 11;12(11):1100. doi: 10.3390/metabo12111100. PMID: 36422239; PMCID: PMC9694901.

17. Nadarajah K, Abdul Rahman NSN. The Microbial Connection to Sustainable Agriculture. *Plants (Basel).* 2023 Jun 14;12(12):2307. doi: 10.3390/plants12122307. PMID: 37375932; PMCID: PMC10303550.

18. Vermeire ML, Thiour-Mauprivez C, De Clerck C. Agroecological transition: towards a better understanding of the impact of ecology-based farming practices on soil microbial ecotoxicology. *FEMS Microbiol Ecol.* 2024 Mar 12;100(4):fiae031. doi: 10.1093/femsec/fiae031. PMID: 38479782; PMCID: PMC10994205.

19. Niggli U, Sonneveld M, Kummer S. Pathways to Advance Agroecology for a Successful Transformation to Sustainable Food Systems. 2023 Jan 2. In: von Braun J, Afsana K, Fresco LO, et al., editors. *Science and Innovations for Food Systems Transformation* [Internet]. Cham (CH): Springer; 2023. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK599641/> doi: 10.1007/978-3-031-15703-5\_18

20. Ranjha MMAN, Shafique B, Khalid W, Nadeem HR, Mueen-Ud-Din G, Khalid MZ. Applications of Biotechnology in Food and Agriculture: a Mini-Review. *Proc Natl Acad Sci India Sect B Biol Sci.* 2022;92(1):11-15. doi:

10.1007/s40011-021-01320-4. Epub 2022 Jan 11. PMID: 35035035; PMCID: PMC8751662.

21. Tyczewska A, Twardowski T, Woźniak-Gientka E. Agricultural biotechnology for sustainable food security. *Trends Biotechnol.* 2023 Mar;41(3):331-341. doi: 10.1016/j.tibtech.2022.12.013. Epub 2023 Jan 27. PMID: 36710131; PMCID: PMC9881846.

22. Jeanneret P, Aviron S, Alignier A, Lavigne C, Helfenstein J, Herzog F, Kay S, Petit S. Agroecology landscapes. *Landsc Ecol.* 2021;36(8):2235-2257. doi: 10.1007/s10980-021-01248-0. Epub 2021 Jun 26. PMID: 34219965; PMCID: PMC8233588.

23. Milheiras SG, Sallu SM, Loveridge R, Nnyiti P, Mwanga L, Baraka E, Lala M, Moore E, Shirima DD, Kioko EN, Marshall AR, Pfeifer M. Agroecological practices increase farmers' well-being in an agricultural growth corridor in Tanzania. *Agron Sustain Dev.* 2022;42(4):56. doi: 10.1007/s13593-022-00789-1. Epub 2022 Jun 16. PMID: 35722061; PMCID: PMC9202667.

24. Qi Y, Li J, Guan X, Yan B, Fu G, He J, Du L, Zhao C, Zhang D. Effects of herbicides on non-target plant species diversity and the community composition of fallow fields in northern China. *Sci Rep.* 2020 Jun 19;10(1):9967. doi: 10.1038/s41598-020-67025-2. PMID: 32561827; PMCID: PMC7305147.

25. Ruuskanen S, Fuchs B, Nissinen R, Puigbò P, Rainio M, Saikkonen K, Helander M. Ecosystem consequences of herbicides: the role of microbiome. *Trends Ecol Evol.* 2023 Jan;38(1):35-43. doi: 10.1016/j.tree.2022.09.009. Epub 2022 Oct 13. PMID: 36243622.

26. Northbourne, L. (2003). *Look to the land* (Second, revised special edition). Hillsdale, New York: Sophia Perennis.

27. ПРАКТИЧНА АГРОНОМІЯ Ніла Кінсі. Глибоке розуміння родючості ґрунтів і застосування добрив; переклад з англійської Ольги Мілінчук і Ольги Бикової – Ріджи, 2019 – с.218-219

28. Рейчел Карсон URL: <https://povaha.org.ua/rejchel-karson-istoriya-zhinky-yaka-vryatuvala-pryrodu/>

29. Soil Association URL: <https://www.soilassociation.org/>

30. IFOAM URL: <https://ifoam.bio/>

31. The World of Organic Agriculture URL: <https://www.fibl.org/en/>