

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ АГРОЕКОЛОГІЇ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ



# Екологічна та біологічна безпека України

Екологічна та біологічна безпека України



**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ АГРОЕКОЛОГІЇ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

# **ЕКОЛОГІЧНА ТА БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА УКРАЇНИ**

***Колективна монографія***

*за науковою редакцією  
доктора економічних наук, професора,  
академіка НААН Дребот О.І.*

*доктора біологічних наук, професора Парфенюк А.І.*

**Київ – 2022**

УДК 63.002.2:504  
ББК 20.1

Екологічна та біологічна безпека України: колективна монографія / за науковою редакцією О.І. Дребот, А.І. Парфенюк. Київ: Видавництво НУБІП України, 2022. 322 с.

**Укладачі:** О.І. Дребот, А.І. Парфенюк, О.С. Дем'янюк, Г.М. Чоботько, О.В. Тертична, В.В. Бородай, Л.Ю. Симочко, П.А. Перейра, Л.А. Глущенко, І.І. Гуменюк, В.О. Цвігун, І.В. Безноско, А.М. Ліщук, Н.В. Карачинська, Н.А. Косовська, А.В. Запталова, Д.О. Яковенко.

Монографія підготовлена науковим колективом Інституту агроекології і природокористування НААН за результатами проведених фундаментальних та прикладних досліджень.

Монографія розрахована на фахівців у галузі екології і сільськогосподарства, сталого природокористування та охорони навколишнього природного середовища, наукових співробітників, викладачів і студентів вищих навчальних закладів, здобувачів наукового звання доктора наук і доктора філософії за спеціальностями 101 – Екологія, 201 – Агрономія.

**Рецензенти:**

**Бойко Ольга Анатоліївна**, доктор біологічних наук, доцент, доцент кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики Національного університету біоресурсів і природокористування України;

**Ткаленко Ганна Миколаївна**, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувачка лабораторії мікробіологічного методу захисту рослин Інституту захисту рослин НААН;

**Ткач Євгенія Дмитрівна**, доктор біологічних наук, старший дослідник, заступник завідувача відділу агроекології і біобезпеки Інституту агроекології і природокористування НААН.

*Матеріали подано в авторській редакції*

Затверджено до друку вченою радою  
Інституту агроекології і природокористування НААН  
протокол № 4 від 26.10.2022 р.

ISBN 978-617-8102-95-1

УДК 63.002.2:504  
ББК 20.1

## ЗМІСТ

<b>Передмова</b>	4 - 5
<b>Розділ 1. Формування біологічної безпеки в агросфері</b> <i>(Парфенюк А.І.)</i>	6 - 41
<b>Розділ 2. Загострення проблеми антибіотикорезистентності в умовах війни</b> <i>(Дем'янюк О.С., Симочко Л.Ю., Перейра П.А.)</i>	42 - 64
<b>Розділ 3. До питання якості і безпечності лікарської рослинної сировини</b> <i>(Глуценко Л.А., Запталова А.В.)</i>	65 - 102
<b>Розділ 4. Радіоекологічні особливості Українського Полісся у формуванні дози опромінення населення</b> <i>(Чоботько Г.М.)</i>	103 - 136
<b>Розділ 5. Біоремедіація забруднених ґрунтів та підвищення їхньої біологічної активності</b> <i>(Бородай В.В., Косовська Н.А., Ліщук А.М., Карачинська Н.В., Яковенко Д.О.)</i>	137 - 170
<b>Розділ 6. Життєві цикли мікроміцетів в агроценозах сільськогосподарських культур</b> <i>(Безноско І.В.)</i>	171 - 210
<b>Розділ 7. Екологічні особливості ектопаразитоценозів сучасного інтенсивного птахівництва</b> <i>(Тертична О.В.)</i>	211 - 237
<b>Розділ 8. Актуальні питання біобезпеки у сучасних умовах</b> <i>(Гуменюк І.І.)</i>	238 - 268
<b>Розділ 9. Вірусні інфекції в агроценозах України</b> <i>(Цвігун В.О.)</i>	269 - 300
<b>Відомості про авторів</b>	301 - 302

## **ШАНОВНІ ЧИТАЧІ!**

В сучасних умовах Україна має вирішувати низку важливих соціально-економічних і екологічних завдань, пов'язаних із безпекою життя і здоров'я українців. Серед них найважливішими є екологічна та біологічна безпека.

Впродовж останнього десятиліття антибіотикорезистентність (АР) розглядається як комплексна проблема. Військові конфлікти та їх наслідки є одними з потужних чинників поширення АР у глобальному масштабі. Проблема АР в умовах воєнних конфліктів охоплює питання нормативного і законодавчого регулювання, державного контролю за застосуванням антимікробних препаратів та системи нагляду поширення антибіотикорезистентних мікроорганізмів, епідеміологічного нагляду, кваліфікованих кадрів. Вирішення проблеми біобезпеки та поширення АР потребує розроблення дієвих заходів із попередження і стримування рівня стійкості до антибіотиків, враховування всіх факторів ризику формування та поширення мікробної резистентності в контексті воєнних дій.

Розуміння різноманітності, динаміки та важливості ґрунтових мікробних спільнот у фундаментальних процесах та у підвищенні продуктивності сільського господарства, дозволять забезпечити стабільність агроєкосистем. Виявлення механізмів стійкості агроценозів, структура та функціонування яких як в умовах воєнного стану, так і за умов стабільного природного середовища, можуть змінюватися, є надзвичайно актуальним на сьогодні в Україні.

Проблема міграції радіонуклідів у екосистемі та проблема радіогенних ефектів впливу на організм радіонуклідів потребує вироблення наукових засад раціонального використання уражених земель, принципів реабілітації забруднених територій, дослідження фізико-хімічних форм радіоактивних випадань та їх трансформування у ґрунті, динаміки мобільних форм нуклідів.

Актуальним є розроблення геоінформаційних технологій, які дадуть змогу зберігати інформацію про властивості агроландшафтів, проведення агроєкологічного моніторингу та паспортизації забруднених земель з урахуванням результатів комплексного обстеження ґрунтово-агрохімічного, агрофізичного та мікробіологічного стану, а також забрудненості ґрунтового покриву радіонуклідами, важкими металами, пестицидами, пально-мастильними матеріалами тощо.

Динамічне зростання посівних площ культурних рослин в Україні призводить до збільшення чисельності фітопатогенних мікроміцетів в агроценозах, які взаємодіючи з рослинами протягом онтогенезу, спричиняють спалахи хвороб, лімітують урожай, погіршують його якість та посилюють біологічне забруднення агроєкосистем в Україні. Це також потребує посиленого застосування хімічних пестицидів, які збільшують антропогенний тиск на популяції фітопатогенних мікроміцетів, та призводять до спрямованого добору найбільш агресивних форм, що призводить до втрати стійкості сортів культурних рослин до хвороб.

Тому у світі все більше уваги приділяють регуляції фітопатогенного фону в агрофітоценозах. Розуміння механізму взаємодії «рослина - живитель - патоген» розкриває шляхи створення бази знань з динаміки накопичення інфекційного матеріалу в агроценозах культурних рослин. Екологічна безпека у сфері сільськогосподарської діяльності пов'язана з необхідністю оцінки елементів біологічного забруднення, що може призводити до екологічних ризиків.

Екологічна та біологічна безпека, особливо в умовах воєнного стану в Україні, є важливою складовою національної безпеки України. Тому окреслення екологічних проблем та шляхів їх вирішення, які наведено авторами у монографії, є надзвичайно актуальним питанням.

***З повагою, наукові редактори***

***доктор економічних наук, професор, академік НААН  
Оксана ДРЕБОТ***

***доктор біологічних, професор  
Алла ПАРФЕНЮК***

---

## РОЗДІЛ 1.

### ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

**Парфенюк А.І.**

**Ключові слова:** культурні рослини, фітопатогенні мікроорганізми, антропогенний тиск; популяції фітопатогенних мікроміцетів; механізми взаємодії рослини-живителя і патогену; хімічні і біологічні пестициди.

Серед основних причин деградації та опустелювання земель, а також зменшення біорізноманіття є надмірний, часто науково не обґрунтований, антропогенний вплив на агроєкосистеми, який призводить до інтенсивного забруднення навколишнього середовища [1]. Попередніми дослідженнями доведено, що культурні рослини, які характеризуються високою стійкістю до фітопатогенних мікроорганізмів створюють значний селективний тиск на їхні популяції і відбирають високо патогенні та агресивні форми. Сильно сприйнятливі рослини, до таких мікроорганізмів, забезпечують швидкий ріст чисельності популяцій мікроміцетів. Вирощування таких рослинних угруповань на виробничих посівах призводить до підвищення біологічного забруднення агросфери та до істотного зниження рівня біологічної безпеки. Це потребує посиленого застосування хімічних засобів захисту рослин від хвороб, що спричинює хімічне забруднення агроєкосистем [2; 3] та зумовлює суттєве зниження якості рослинної продукції шляхом накопичення в ній продуктів метаболізму фітопатогенних мікроорганізмів та зниження біологічної безпеки агроценозів. Відомо, що найважливішим фактором забруднення агроєкосистем, є мікотоксини, які належать до вторинних метаболітів, що є шкідливими як для людини, так і для тварин [4]. Небезпечними залишаються мікотоксигенні мікроміцети родів, *Aspergillus* та *Penicillium*. Види роду *Fusarium* spp. колонізують посіви в полі, деякі з них викликають важкі хвороби, а інші живуть ектофітно, тоді як види *Aspergillus* та *Penicillium* зазвичай паразитують на злаках та іншій сировині за недотримання умов сушіння та зберігання. Майже всі мікотоксини, що присутні в продуктах харчування та кормах, накопичуються в полі [5]. Тем-

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

пература, відносна вологість та доступність води, разом із впливом комах, є ключовими факторами, що впливають на ураження рослин мікотоксигенними грибами [6].

Деякі із перелічених мікроміцетів характеризуються високою фізіологічною пластичністю, що сприяє їхній здатності пристосовуватися до широкого кола екологічних ніш, включаючи багато основних джерел харчування, пов'язаних з зерновими культурами [7; 8]. Слід зазначити, що злаки є основним джерелом забруднення мікотоксинами харчового ланцюга людини. Це споживання інфікованих рослинних продуктів, або через вживання молока та молочних продуктів від тварин, які вживали корми, уражені фітопатогенними мікроорганізмами.

Динамічне зростання посівних площ культурних рослин в Україні призводить до збільшення чисельності фітопатогенних мікроміцетів в агроценозах, які взаємодіючи з рослинами протягом онтогенезу [9], спричиняють спалахи хвороб. Вони лімітують урожай, погіршують його якість та посилюють біологічне забруднення агроєкосистем в Україні. Це також потребує посиленого застосування хімічних пестицидів, які збільшують антропогенний тиск на популяції фітопатогенних мікроміцетів, та призводять до спрямованого добору найбільш агресивних форм, що забезпечує втрату стійкості сортів культурних рослин до хвороб.

Тому у світі все більше уваги приділяють регуляції фітопатогенного фону в агрофітоценозах [10; 11]. Ефективність такої регуляції залежить від розуміння механізмів і чинників, які зумовлюють швидкість формування природних екотипів грибів-паразитів. Адже стимуляція фенотипної мінливості фітопатогенних мікроміцетів, у наслідок контакту зі стійкими сортами культурних рослин, особливо створеними шляхом генетичного модефікування, сприяє підвищенню патогенності та фітотоксичності мікобіому [12; 13]. Отже, розуміння механізму взаємодії «рослина-живитель - патоген» розкриває шляхи створення бази знань з динаміки накопичення інфекційного матеріалу в агроценозах культурних рослин [14]. Екологічна безпека у сфері сільськогосподарської діяльності пов'язана з



## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

необхідністю оцінки елементів біологічного забруднення, що може призводити до екологічних ризиків.

Інфекційні хвороби рослин виникають і набувають значного розвитку в результаті розбалансованості корисного і патогенного мікробіому в агросфері. Зазначена розбалансованість спричиняється високо стійкими, або сильно сприйнятливими сортами культурних рослин, в тому числі трансгенних. Високо стійкі сорти є жорстким фактором добору вірулентних патотипів фітопатогенних мікроорганізмів, які здатні швидко долати стійкість рослин, інтенсивно розмножуватись і спричинювати епіфітотії. Сильно сприйнятливі рослини – сприяють інтенсивному розвитку як високо- так і низько вірулентних патотипів. Це також спричинює виникнення епіфітотій, які підвищують швидкість формують процесів і сприяють виникненню нових агресивних форм, які здатні долати стійкість рослин і інтенсивно розмножуватись.

Саме така взаємодія між сортами рослин, в тому числі трансгенними, та патогенними мікроорганізмами є причиною застосування хімічних та біологічних пестицидів в агрофітоценозах, збільшення їх доз та спектру. Це спричинює жорсткий хімічний тиск на патогенну і корисну біоту та в значній мірі впливає на біотичне різноманіття, розбалансовуючи сукупність видів рослин і мікроорганізмів, а також їх угруповань в агрофітоценозах.

Відомо, що впродовж вегетації рослин в агрофітоценозах паразитує велика кількість фітопатогенних мікрміцетів. Вони здатні утворювати значну кількість інфекційних структур, що накопичуються в агросфері. Рослини є основною складовою частиною агроecosystem, а сорт культурних рослин з його морфологічними та фізіолого-біохімічними ознаками є потужним чинником формування структури мікробіому, його кількісного і якісного складу. Рослини і мікроорганізми знаходяться в складних екологічних зв'язках.

До найбільш поширених в Україні фітопатогенних мікрміцетів належать широкоспеціалізовані некротрофи - збудники основних хвороб культурних рослин. Вони здатні уражувати велику кількість сільськогосподарських культур, і зберігати

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

ються у вигляді: склероціїв і мікросклероціїв у ґрунті; міцелію та пікнід на рослинних рештках і насінні.

Тому, в Інституті агроєкології і природокористування НААН України розроблено структуру показників для оцінювання взаємодії генотипів сільськогосподарських культур та мікроорганізмів в агроєкосистемах України і низку методичних рекомендацій оцінки впливу генотипів сортів на фітопатогенний та корисний мікробіом в агроценозах. Наприклад, в комплексі хвороб пшениці, як в нашій країні так і за кордоном, значне місце займає очкова плямистість стебел, яку спричиняють недосконалі гриби роду *Pseudocercospora* spp. Хвороба призводить до ламкості стебел та безладного вилягання посівів, викликає пустоколосість та щуплозерність, що спричинює значні втрати урожаю, сприяє накопиченню інфекційного потенціалу в ґрунті, або на рослинних рештках.

Існуючі сорти пшениці вітчизняної селекції характеризуються низькими показниками стійкості до очкової плямистості. Це обумовлено комплексом факторів. Відомо, що в основі створення стійкого рослинного матеріалу до фітопатогенних мікроміцетів лежить спрямований добір. Об'єктивність такого добору в значній мірі обумовлена ознаками стійкості. Їх вірогідність залежить від розуміння механізмів взаємодії рослини - живителя і патогену на різних етапах онтогенезу рослин. Ці механізми є досить складними і призводять до широкого спектру симптомів на стеблах, в період колосіння, молочної та воскової стиглості, виникненням білостебельності, на ранніх етапах онтогенезу - знебарвленням листків. Зазначені симптоми патологічного процесу спричинюють посилення дихання та формування пустого колосу.

Разом із тим стійкі генотипи пшениці схильні до реакції надчутливості, яка характеризується утворенням некрозів в епідермальних клітинах, високою частотою утворення папіл (вмістилищ лігніну), уповільненим проникненням інфекційних гіф в листові піхви. Перелічений спектр симптомів покладено в основу імунологічних шкал за якими здійснюють індивідуальні та масові добори стійких генотипів. Зазначені симптоми в значній мірі можуть змінюватись під впливом біотичних та

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

абіотичних факторів навколишнього середовища протягом вегетаційного періоду. Це в певній мірі знижує об'єктивність доборів і знецінює процес селекції сортів рослин на стійкість до очкової плямистості. Тому удосконалення існуючих та розроблення нових методів оцінювання сорту у взаємодіючих системах із патогенними грибами є актуальним напрямом досліджень.

Нами гармонізовано існуючі та розроблено нові методи визначення чисельності популяцій фітопатогенних грибів у взаємодіючих системах рослина – патоген. Розроблено спосіб визначення впливу сортів культурних рослин на чисельність фітопатогенних структур. З використанням розробленого способу, вивчено вплив сортів сільськогосподарських культур на формування інфекційних структур грибів некротрофного типу живлення на різних етапах онтогенезу рослин. Встановлено, що сорти пшениці соняшника, сої, огірка, перцю солодкого в значній мірі диференціюються за впливом на накопичення маси міцелію, на інтенсивність конідієутворення та формування хламідоспор.

Вивчено вплив популяцій сортів і гібридів сільськогосподарських культур на чисельність фітопатогенного комплексу в агрекосистемах Центрального Лісостепу України. Доведено, що найбільш поширеними фітопатогенними грибами, які паразитують на листках сортів злакових культур є: *Ascochyta hordei* Hara (= *Ascochyta graminicola* Sacc.), *Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.), *Drechsler ex Dastur* (= *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker), *Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Marchal., *Cochliobolus sativus* (Ito et Kurib.) Drechsler ex Dastur., *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker., *Puccinia recondita* Rob. ex Desm f. sp., *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler, *Phaeosphaeria nodorum* (E. Muell.) Hedjar. (= *Leptosphaeria nodorum* E. Muell., = *Septoria nodorum* (Berk.) Berk), *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schroet. (= *Septoria tritici*). Зазначені види грибів спричиняють різні плямистості на листках та стеблах злакових культур.

Найбільш поширеними фітопатогенними грибами, які паразитують на коренях та прикореневій частині стебла рос-

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

лин злакових культур є види: *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & I.C. Hallett, що спричинюють сніжну плісень. Гриби роду *Fusarium*, *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) Arx & D.L. Olivier., *Pseudocercospora herpotrichoides* (Fron) Deighton, *Rhizoctonia solani* J.G. Kuhn (= *Thanatephorus cucumeris* (A.B. Frank) Donk), *Pythium aristosporum* Vanterp., *P. arrhenomanes* Drechsler, *P. graminicola* Subraman., *P. ultimum* Trow., *Sclerotinia borealis* Bubak & Vleugel, які викликають кореневу гниль пшениці, *Typhula incarnata* Lasch, *T. idahoensis* Remsberg., що спричинюють тифульозне випрівання пшениці.

На листках та плодах гарбузових культур найчастіше паразитують: *Colletotrichum lagenarium* (Pass.) Ell. et Halst., що спричинює антракноз, *Erysiphe cichoracearum* Dc. f. *cucurbitacearum* Poteb., що є збудником борошнистої роси огірка, *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. & M.A. Curtis) Rostovzev. - збудник несправжньої борошнистої роси огірка, *Xanthomonas campestris* pv. *cucurbitae* (Bryan) Dye, що викликає бактеріальну листову плямистість гарбузових культур, *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans* (Smith and Bryan) Yong et al. Це спричинює ку-тасту плямистість огірка. Серед фітопатогенних грибів на коренях гарбузових домінують: *Fusarium* spp. Lk : Fr, *Rhizoctonia* spp. DC

На листках буряка столового в Україні в основному паразитують *Cercospora beticola* Sacc. – церкоспороз буряка столового, що спричинює плямистість, *Erysiphe betae* (Vanha) Weltzien, що викликає борошністу росу буряка, *Peronospora schachtii* Fuck., що спричинює пероноспороз, *Phoma betae* A.B. Frank (= *Pleospora betae* Bjorl.) – чинник зональної плямистості або фомозу буряка. *Pythium debarianum* R. Hesse., *Fusarium* spp. Li : Fr., *Phoma betae* A.B. Frank., - чинники туберкульозу буряка.

На коренеплодах - найбільш поширеними є *Botrytis cinerea* Pers., *Fusarium* spp. Li : Fr., *Rhizopus nigricans* Ehrenb., *Sclerotinia borealis* Bubak & Vleugel, що викликають кагатну гниль.

Перелічені фітопатогенні гриби здатні утворювати велику кількість морфологічних структур, які накопичуються в насін-

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

ні, рослинах та рослинних рештках і є потужним чинником біологічного забруднення агроєкосистем. До згаданих структур належать: конідії, сумкоспори, перитеції, міцелій, склероції, хламідоспори, токсини, пікніди, пікноспори. Слід зазначити, що перелічені фітопатогенні гриби характеризуються широкою спеціалізацією і здатні уражувати численні види рослин протягом вегетації в агроценозах.

Доведено, що сорти культурних рослин суттєво диференціюються за впливом на формування чисельності спор некротрофних мікроміцетів, які паразитують на колосі і сприяють накопиченню конідій в посівах та на колосках рослин. Наприклад, під час взаємодії рослин сортів пшениці озимої з грибами роду *Septoria*, у фазу куціння рослин, існують прямі залежності між стійкістю рослин, їхньою сприйнятливістю та інтенсивністю споруляції грибів.

Виявлено, що сорти пшениці озимої протягом вегетації по різному впливають на спорування грибів роду *Septoria*. Сумарна кількість пропагул на їхніх рослинах знаходиться в межах 6,1 – 16,8 млн.шт./мл. У фазу виходу в трубку рослини накопичують зимуючі стадії фітопатогенів в агрофітоценозах.

Отже, результати аналізу інтенсивності споруляції некротрофних фітопатогенів в агрофітоценозах пшениці свідчать про істотний вплив популяцій сортів культурних рослин на ріст, розвиток, плодючість та характер спороношення грибів. Розроблено методологію оцінювання впливу сортів сільськогосподарських культур на чисельність фітопатогенних грибів. За використання розробленої методології протестовано сорти ряду культур за впливом на інтенсивність споруляції поширених фітопатогенних мікроміцетів.

За отриманими результатами досліджень показано, що сорти культурних рослин диференціюються за впливом на споруляцію грибів зазначених родів і на сприяння біологічному забрудненню агрофітоценозів зазначеними грибами. Вони можуть як стримувати інтенсивність споруляції зазначених грибів і знижувати рівень біологічного забруднення в агроценозах, так і стимулювати її. Розроблена методологія забезпечує об'єктивну характеристику сортів культурних рослин за впли-

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

вом на інтенсивність споруутворення фітопатогенних некротрофних грибів у різні фази онтогенезу рослин.

Відомо, що сорт культурних рослин є потужним фактором спрямованого добору в популяціях мікроорганізмів, за ознаками "патогенності" і "агресивності". Саме цей фактор добору разом із хімічними та біологічними засобами захисту рослин в значній мірі впливають на якісні та кількісні показники інфекційного матеріалу фітопатогенних мікроорганізмів, що створює значні проблеми в агрофітоценозах і в певній мірі погіршує біологічну безпеку агроєкосистем. Тому розроблення методів управління шкідливими і корисними біологічними компонентами агроєкосистем, на основі вивчення взаємодії культурних рослинних популяцій та популяцій фітопатогенних мікроорганізмів, є актуальним напрямком, який відкриває шляхи оцінки рівня біобезпеки вирощування рослинної продукції в агроєкосистемах.

Пріоритетним напрямком визначення взаємодії культурних рослин і мікроорганізмів є розкриття процесів, які відбуваються в популяціях паразитів, та їх живителів. Одним із заходів підвищення урожаю та якості продукції сільськогосподарських культур є вирощування гібридів та сортів, що здатні стримувати розвиток шкідливих мікроорганізмів на економічно-невідчутному рівні.

За результатами досліджень в патосистемі сорт-фітопатогенний грибок, що належить як до некротрофів, так і до біотрофів, виявлено визначальну роль сорту культурних рослин у формуванні фітопатогенного фону в агрофітоценозах. Саме стійкий до збудників хвороб сорт культурних рослин шляхом селективного тиску на популяції фітопатогенних грибів може підвищувати або знижувати рівень патогенності чи агресивності інфекційного фону.

Нині активно проводять дослідження, що спрямовані на боротьбу зі збільшенням резистентності фітопатогенних грибів і зменшенням негативного впливу фунгіцидів на здоров'я людини і навколишнє середовище. Найбільш поширеними стратегіями є використання штучно підібраних рослин із резистен-

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

тними генотипами, які продукують екзометаболіти, що характеризуються антифунгальними властивостями.

Кореневі екзометаболіти є важливим екологічним чинником в життєдіяльності рослин. Вони активно впливають на важко розчинні мінеральні речовини ґрунту, беруть участь в біодинаміці органічної речовини, впливають на груповий склад ризосферної мікрофлори, визначають аллелопатичну взаємодію у фітоценозі, чим впливають на склад і структуру біогеоценозу. До екзометаболітів рослин належать виділення живих непошкоджених корінців, реагентна здатність яких вища, ніж сапролінів (виділення відмерлих частин корінців). Ця особливість пов'язана не із загальною кількістю органічних речовин, а з їхнім якісним складом. Серед органічних сполук у сапролінах переважають феноли і вуглеводи, окрім цього в них зафіксовано більше органічних кислот.

За допомогою методів хімічної ідентифікації, газової, паперової та тонкошарової хроматографії, в складі корневих екзометаболітів визначено широкий спектр як неорганічних, так і органічних сполук. Сумарна кількість корневих виділень може сягати 5 – 10 % маси всього організму. В складі корневих виділень різних видів бобових рослин, які було вирощено в природних або лабораторних умовах, виявлено органічні кислоти такі як щавелева, винна, лимонна, малінова, яблучна; вуглеводи - глюкоза, рафіноза, сахароза, арабіноза, рамноза; ферменти (каталаза, тирозиназа, фенолаза, аспарагіназа, уреаза, інвертаза, амілаза, целюлаза, протеаза, ліпаза, фосфотаза), амінокислоти (серин, гліцин, аланін, аспарагінову і глутамінову кислоти, лейцин, треонін, валін триптофан), та аміді - аспарагін і глутамін.

Розвиток захисних реакцій рослини у відповідь на вплив патогену визначається швидким і адекватним його розпізнаванням, яке залежить від наявності у рослини специфічних цитоплазматичних рецепторів. За наявності консервативних мікробних молекулярних частинок у цитоплазмі активується базовий специфічний імунітет. Він включає розвиток реакції гіперчутливості, системної стійкості та імунної пам'яті рослини. Вивчення паттернів і ефекторів, як індукторів захисних

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

відповідей рослини, актуально здійснювати пошук біогенних активаторів довготривалої стійкості рослин до широкого кола патогенів.

Наявність специфічних сполук у корневих виділеннях, є причиною різноманітності видового та кількісного складу ризосферної мікрофлори. Екзометаболіти можуть впливати на мікроорганізми: позитивно – за рахунок накопичення агрономічно корисної мікробіоти та негативно – за рахунок активування розвитку мікроорганізмів, які продукують токсини у середовищі зростання рослин. Так, виділення коренів трьох видів роду *Tagetes* L. позитивно впливали на такі ґрунтові мікроорганізми, як азотфіксувальні, споротвірні і неспоротвірні бактерії, актиноміцети. При цьому зростає чисельність мікроорганізмів з активним ферментативним апаратом, які самі слугують джерелом фітотоксичних сполук і разом з рослинними екстрактами можуть посилювати несприятливий фон для подальшого вирощування цих рослин.

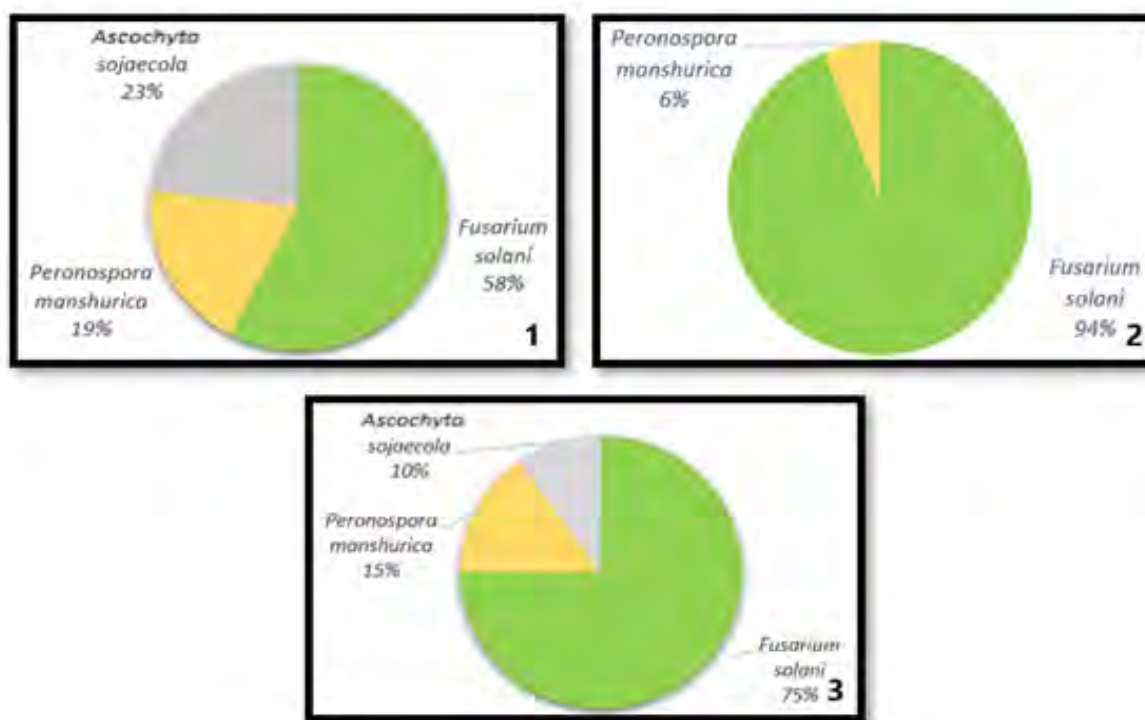
Кореневі екзометаболіти захищають проростки і рослини від збудників хвороб, виявляють фунгіцидні та бактерицидні властивості, що визначається комплексом біологічно активних речовин. Ексудати рослин пригнічують ріст і розвиток фітопатогенів, інактивують токсини та екзоферменти, які виділяють гриби в навколишнє середовище; гальмують спороношення грибів, зокрема збудників фузаріозу бобових культур. Це дає можливість використовувати екзометаболіти проростаючого насіння-донора для поліпшення посівних якостей насіння, їхнього росту і розвитку, підвищення стійкості до несприятливих умов середовища і захворювань, покращення врожайності та якості сільськогосподарських рослин-акцепторів [15].

Досліджено мікобіом насіння, сім'ядолей, коренів та стебел сої сорту Кент, вирощеного в умовах органічного виробництва в Центральному Лісостепу України. Визначено, що в популяції мікроміцетів, які заселяють насіння сої сорту Кент домінують 3 види: *Fusarium solani* (Mart.) Sacc., *Ascochyta sojaecola* Abr та *Peronospora manshurica* (Naumov) Syd. За вирощування рослин із досліджуваного насіння, в ендofітному мікобіомі їхніх коренів переважають ізоляти виду *Fusarium*



## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

*solani*. Частота їхнього трапляння сягала 92%. Водночас на сім'ядолях та стеблах чисельність ізолятів зазначеного виду в 1,6 та 1,2 раза, відповідно, була нижчою (рис.1).



**Рис. 1. Частота трапляння мікроміцетів на вегетативних органах рослин сої сорту Кент:  
1 – сім'ядолі; 2 – коріння; 3 – стебла**

Джерело: розроблено автором на основі власних досліджень.

Відомо, що вид *F. solani* належить до ґрунтових мікроорганізмів, які проникають в рослину через судинно провідну систему, викликаючи в'янення, та кореневі гнилі, що призводить до втрати урожаю та істотного погіршення якості рослинної продукції. Окрім цього, через здатність гриба продукувати мікотоксини (фузаринова кислота, нафтохінони) він є патогенним для людини, викликаючи запалення рогівки ока.

В мікобіомі сім'ядолей рослин сої сорту Кент переважали ізоляти виду *Ascochyta sojaecola* (23%). В той же час на стеблах, чисельність ізолятів зазначеного виду була на 15% нижчою (рис.1). Слід азначити, що ізоляти гриба *A. sojaecola* є

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

збудниками хвороб вегетативних органів рослин сої і поширюються за допомогою пікноспор. Уражене насіння, в якому зберігається грибниця патогену і уражені рештки, в яких містяться пікніди гриба, є основним джерелом інфекції.

Важливим є те, що аскохітоз призводить до зниження схожості насіння на 25-40% та зниження якості рослинної продукції. За результатами проведених досліджень встановлено, що ізоляти виду *P. manshurica* домінують на сім'ядолях та стеблах рослин сої сорту Кент. Їхня частота трапляння дорівнює 19% та 15% відповідно. На коренях чисельність даного виду суттєво нижча – 6% (рис.1). Це можна пояснити біологічними особливостями розвитку мікроміцету.

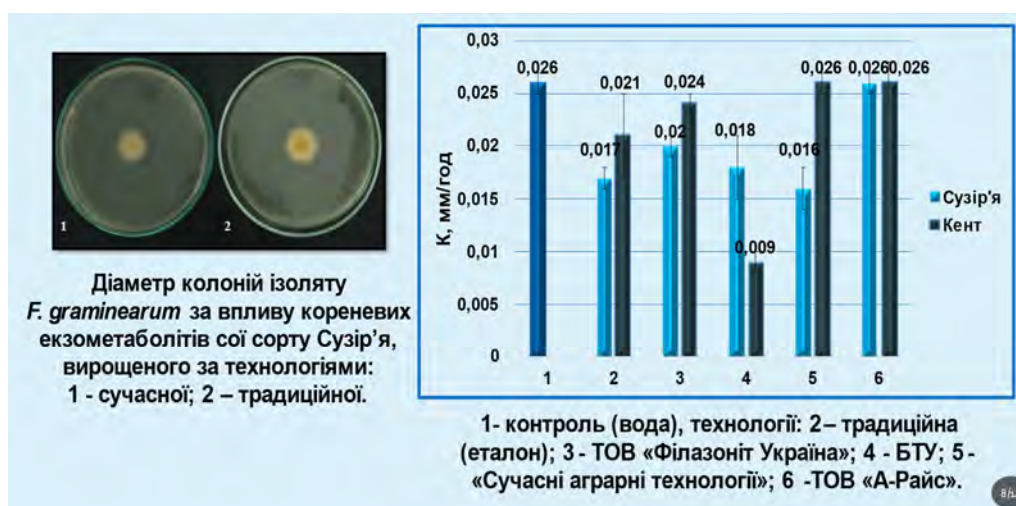
Відомо, що взаємний вплив рослин в агроценозах здійснюється, головним чином, через кореневу систему. Дія корневих екзометаболітів може виявлятися як на рівні молекулярних та ультраструктурних змін клітини, так і на рівні біохімічних та фізіологічних процесів. За дії алелохімічних речовин або сигнальних хімічних речовин відбувається регуляція міжвидової або внутрішньовидової взаємодії рослин і мікроорганізмів. Алелопатичні сполуки, зазвичай, створюють «множинні каскадні ефекти», які впливають на сукцесію мікробних спільнот, просторову структуру, мутуалістичні асоціації, цикл азоту в ґрунті, продуктивність і захист рослин. У відповідь рослини розвивають складні молекулярні та фізіологічні механізми для кращої адаптації, толерантності та виживання. Дослідження корневих екзометаболітів рослин дозволяє краще зрозуміти взаємодію рослин та мікроорганізмів, що визначають їх роль як екологічного чинника у мікробно-рослинних асоціаціях.

За результатами дослідження алелопатичних зв'язків між сортами культурних рослин та видами фітопатогенних грибів некротрофного типу живлення виявлено, що метаболіти сортів буряка столового, огірка, перцю солодкого, пшениці озимої, сої та соняшника здатні як стимулювати, так і пригнічувати пропагулоутворення грибів родів *Fusarium*, *Alternaria* та *Sclerotinia* в умовах *in vitro*.

На підставі цього їх можна вважати одним із механізмів впливу сорту рослин на інтенсивність формування грибного

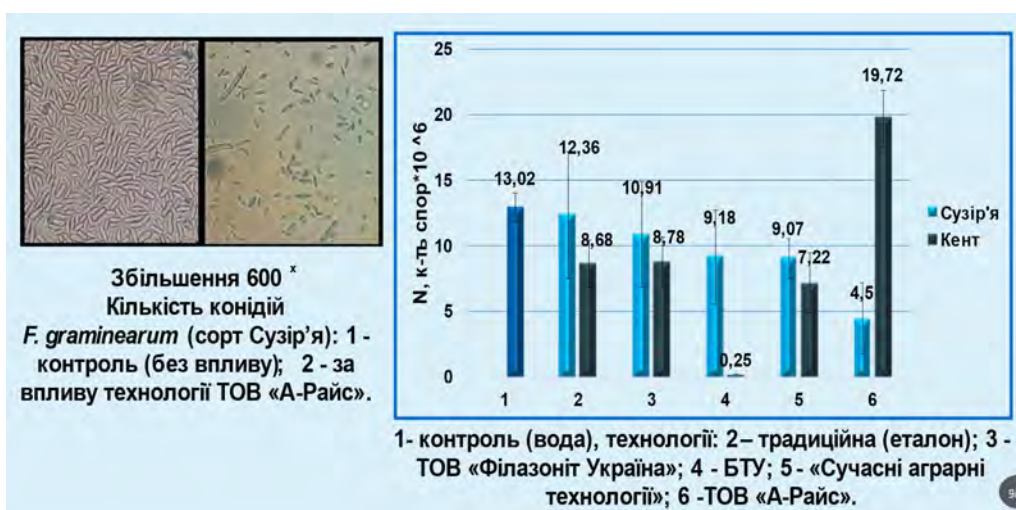
## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

фітопатогенного фону. Як свідчать дані, що представлено на рис. 2 швидкість радіального росту міцелію ізоляту *F. graminearum* під дією корневих екзометаболітів рослин сої вирощених за біологічною технологією істотно знижувалась у порівнянні із контролем.



**Рис. 2. Швидкість радіального росту міцелію ізоляту *F. graminearum* під дією корневих екзометаболітів сої, вирощеної за біологічних технологій**

Джерело: розроблено автором на основі власних досліджень.



**Рис. 3. Інтенсивність споруляції ізоляту *F. graminearum* під впливом корневих екзометаболітів сої, вирощеної за біологічних технологій**

Джерело: розроблено автором на основі власних досліджень.

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

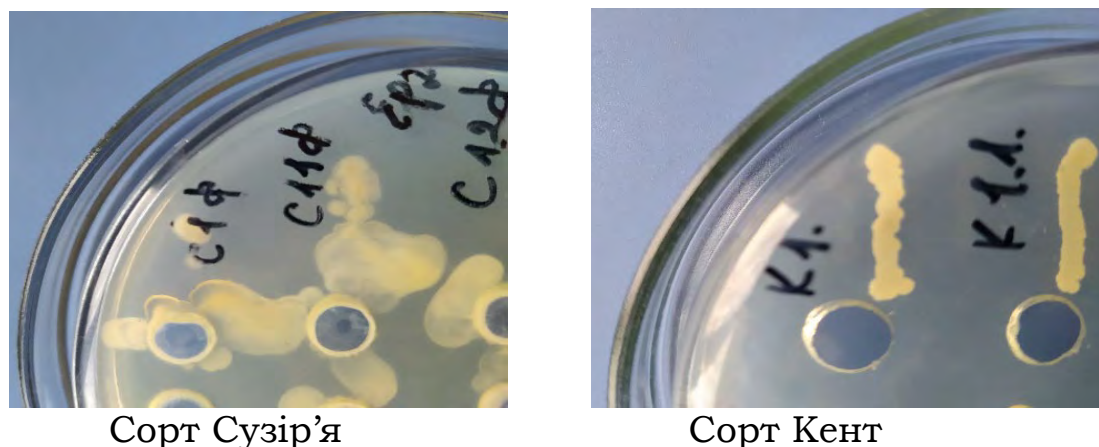
За результатами досліджень корневих екстрактів рослин сої виявлено ізофлавоноїди, які характеризуються високою мінливістю в рослинах сорту Кент у порівнянні із сортом Сузір'я. Відомо, що вторинний метаболізм рослин формується в процесі еволюції. Його основні функції пов'язані, насамперед, з необхідністю підтримувати внутрішню стабільність рослинного організму в умовах, які постійно змінюються. Вторинні метаболіти сої, в тому числі і фенольні сполуки, можуть викликати конформаційні зміни рецепторів або інших структур поверхні клітини під час безпосереднього зв'язування з ними. Кількість таких «трансформованих» рецепторів є первинним сигналом для хемотаксисної системи бактеріальних клітин, дія яких відбивається на руховій активності бактерій.

Одним із напрямів підвищення екологічної безпеки фітоценозів є застосування мікробних препаратів, створених на основі бактерій групи PGPR (plant growth-promoting rhizobacteria), що стимулюють ріст та підвищують продуктивність рослин, завдяки асиміляції елементів живлення, продукуванню біологічно активних речовин, індукції каскаду захисних реакцій та розвитку системного імунітету рослин.

Наявність мікроорганізмів впливає на якісний та кількісний склад фенольних сполук, присутніх у ризосфері, як через модифікацію корневих ексудатів, так і через мікробний катаболізм ексудатів. Мікробні сукцесії і ослаблення сигналів фенольних сполук є важливим маловивченим в Україні напрямком досліджень у взаємодії рослини-мікроорганізми.

Встановлено позитивну реакцію хемотаксису рістстимулюючих бактерій групи PGPR, а саме *Pseudomonas putida* та *Bacillus amyloliquefaciens* до фенольних сполук, виділених із корневих екзометаболітів сої вітчизняного сорту Сузір'я та сорту Кент (Австрія) (рис. 4, табл. 1).

Виявлено більш високий вміст фенольних сполук в рослинах сорту Сузір'я (вітчизняної селекції) порівняно із сортом Кент (іноземної селекції). Під час визначення в них загального вмісту фенольних сполук встановлено, що кореневі екзометаболіти сої сорту Сузір'я мають на 38,85 % більше фенольних



**Рис. 4. Позитивний хемотаксис рістстимулюючих бактерій *P. putida* та *B. amyloliquefaciens* до фенольних сполук корневих екзометаболітів сої**

Джерело: розроблено автором на основі власних досліджень.

Таблиця 1.

**Хемотаксис рістстимулюючих бактерій *P. putida* та *B. amyloliquefaciens* до фенольних сполук корневих екзометаболітів сої**

Варіанти досліду	Рістстимулюючі бактерії групи PGPB	
	<i>Pseudomonas putida</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
Метаболіти корневих ексудатів, виділені через різні системи картриджів для фільтрування		
Сорт Сузір'я		
Фільтр	++*	++
Фільтр 1	+++	+++
Фільтр 2	+++	+++
Фільтр 3	+	++
Кінцеві залишки 1	+	+
Кінцеві залишки 2	+	+/-
Сорт Кент		
Фільтр	++*	+
Фільтр 1	++	+
Фільтр 2	+	-
Фільтр 3	+	-
Кінцеві залишки 1	-	-
Кінцеві залишки 2	-	-

\*Примітка: - - відсутність, +/- - дуже слабкий, + - слабо активний, +++ - активний

Джерело: розроблено автором на основі власних досліджень.

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

сполук, у порівнянні із екзометаболітами сої сорту Кент (відповідно 5,71 проти 2,22 мкг/100 мл).

Вторинні метаболіти сої, в тому числі і фенольні сполуки, можуть викликати конформаційні зміни рецепторів або інших структур поверхні клітини при безпосередньому зв'язуванні з ними. Кількість таких «трансформованих» рецепторів є первинним сигналом для хемотаксисної системи бактеріальних клітин, дія яких відбивається на руховій активності бактерій.

Встановлено диференціацію активності водних екстрактів корневих екзометаболітів сої сортів Кент та Сузір'я, вирощених за застосування біопрепаратів (табл.2).

Таблиця 2.

### Хемотаксис рістстимулюючих бактерій *P. putida* та *B. amyloliquefaciens* до водних екстрактів корневих екзометаболітів сої

Біопрепарати	Рістстимулюючі бактерії групи PGPB	
	<i>Pseudomonas putida</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
	Сорт Кент	
Контроль	-*	-
Фітоцид	+/-	+/-
Фітохелп	+/-	+/-
Мікохелп	-	-
	Сорт Сузір'я	
Контроль	-	-
Фітоцид	++	+
Фітохелп	+	+
Мікохелп	-	-

\*Примітка: – відсутність, +/- – дуже слабкий, + – слабкий, ++ – слабо активний

Джерело: розроблено авторами на основі власних досліджень.

Найвищу активність хемотаксису було виявлено за взаємодії рслин сорту сої Сузір'я у порівнянні із рослинами сорту Кент, а також за використання біопрепаратів Фітоцид та Фітохелп у порівнянні із контролем. Визначено, що Сорти сої істо-

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

тно диференціюються за ступенем хемотаксису бактеріальних культур *P. putida* PPER2 .

В той час, коли до екзометаболітів вітчизняного сорту Сузір'я хемотаксис проявляв високу інтенсивність, то до екзометаболітів сорту Кент – помірно. Це може бути обумовлено більшим вмістом фенольних сполук у рослинах сорту Сузір'я у порівнянні із рослинами сорту Кент. Встановлено, що кореневі екзометаболіти рослин сої сорту Сузір'я мають на 38,85 % більше фенольних сполук, у порівнянні із екзометаболітами рослин сої сорту Кент (відповідно 5,71 проти 2,22 мкг/100 мл).

Виявлено диференціацію активності корневих екзометаболітів рослин сої сортів Кент та Сузір'я, вирощених із застосуванням біопрепаратів. Найвищу активність хемотаксису було зазначено у варіанті із сортом Сузір'я за використання біопрепаратів Фітоцид та Фітохелп, порівняно із контролем.

Отже, фенольні сполуки корневих екзометаболітів рослин сої сортів Кент та Сузір'я характеризуються позитивною реакцією хемотаксису рістстимулюючих бактерій *Pseudomonas putida* до них. Флавоноїди сої відіграють значну роль в адаптації та формуванні ризомікробіому, в регуляції фітопатогенного фону і потребують подальшого дослідження.

Впродовж останніх десятиліть увагу вчених світу зосереджено на вивченні синекологічних механізмів взаємодії між рослинами і ґрунтовими мікроорганізмами та визначенні шляхів передачі сигналів у системі «рослина – ґрунтові мікроорганізми» за впливу абіотичних, біотичних та антропогенних чинників [16; 17]. Взаємодія рослин і мікроорганізмів базується на процесах алелопатії та передачі сигналів від рослини до рослини або до мікроорганізмів за допомогою алелохімічних (переважно токсинів) або сигнальних хімічних речовин [18]. Зазначені речовини можуть потрапляти в довкілля різними шляхами: через випаровування, через виділення з вегетативних органів (активні – ексудати, пасивні – дифузати), вилуговування з опаду (сапроліни). Рослини у відповідь на хімічні речовини, можуть ініціювати алелопатичну інтерференцію, що призводить до регуляції взаємодій [19]. Алелохімічні речовини мають в основному негативний вплив на рослину-реципієнта.

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

Нетоксичні сигнальні хімічні речовини є інформативними для взаємодіючих рослин та мають нейтральний або позитивний вплив. Наприклад, деякі речовини, такі як бензоксазіноїди та момілактони, можуть функціонувати як нетоксичні сигнали [16].

Надземні сигнальні взаємодії можуть контролюватись леткими екзометаболітами, до яких належать: етилен, метилжасмонат і саліцилат, індол і кілька летких терпенів, значною мірою відповідають за наземні сигнальні взаємодії між рослинами. Леткі органічні сполуки (ЛОС) можуть продукуватись мікроорганізмами ризосфери, наприклад *Burkholderia ceparacia*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Pseudomonas trivialis* та *P. fluorescens*, *Serratia plymuthica* та *Bacillus subtilis*. Відомо, що вони впливають на розвиток рослин навіть в незначній концентрації порівняно з іншими метаболітами [19].

Однак механізми та ідентичність корневих екзометаболітів у сигнальних взаємодіях рослин в ґрунті вивчені недостатньо. Це обумовлено як складністю ґрунтових процесів, так і методологічними обмеженнями щодо дослідження сигнальних хімічних речовин, які знаходяться в ґрунті [20].

Взаємодія рослин та мікроорганізмів призводить до ряду трансформацій у ризосфері. До них належать функціонування екосистеми та кругообіг поживних речовин. Кореневі екsudати виконують численні функції, включаючи: зміну фізичних і хімічних властивостей ґрунту, сприяння корисним симбіозам, модуляцію мікробіому коренів і мікробних спільнот ґрунту, а також регуляцію взаємодії з іншими ґрунтовими організмами.

Кореневі екsudати містять низькомолекулярні речовини (амінокислоти, органічні кислоти, вуглеводи, феноли та інші вторинні сполуки, які визначають різноманітність корневих виділень) та високомолекулярні (полісахариди і білки). Склад корневих виділень залежить від виду рослин, також від стадії розвитку рослини, умов зростання, фізико-хімічних властивостей середовища, в якому розвивається коренева система.

Кореневі екзометаболіти мають різні фізіологічні властивості та представлені спектром органічних сполук з різних класів. Це водорозчинні речовини, що надходять із коренів у



## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

ґрунт; високомолекулярні полісахариди на поверхні коренів; клітини кореневого чохла, що відшаровуються, які частково залишаються в кореневій зоні; відмираючі клітини епідермісу; леткі та газоподібні метаболіти проростаючого насіння і коренів [21].

Склад корневих екзометаболітів також корелює із способом фотосинтезу рослин. Наприклад, рослини С3 і С4 демонструють варіації у типах ексудатів, що виділяються в ризосферу. Домінуючими цукрами у рослинах С3 є маноза, мальтоза та рибоза, в той час як у рослинах С4 – інозитол, еритритол і рибітол. Рослини С4 виділяють більшу кількість органічних кислот і амінокислот, ніж рослини С3. Ексудати коренів рослин С4 мають різний рН.

Відомо, що як в природних ценозах, так і в агроценозах рослини функціонують завдяки доступним, біотичним речовинам. Протягом вегетації за стресових умов у рослин включаються механізми адаптації, захисні реакції, які працюють більш ефективно на початкових етапах онтогенезу та коригують стратегію росту і розвитку [20]. Обсяг і характер ексудації змінюються залежно від віку рослини. Адже, молоді тканини рослини виділяють більше сполук вуглецю через кореневу систему, тоді як старі тканини рослин - в пагонах. Це призводить до збільшення об'єму корневих екзометаболітів у молодих рослин порівняно із старими.

На початку квітання, у рослин наявна велика кількість білків, пов'язаних із їхнім захистом від фітопатогенних мікроорганізмів. Вважається, що леткі антимікробні сполуки відіграють важливу роль у взаємодії рослин з мікробіомом на великих відстанях.

Досліджено, що сигнальні взаємодії у ґрунті впливають на розвиток надземних органів, особливо за квітання та розмноження рослин, під час яких кореневі ексудати відіграють значну роль у внутрішньовидовому розпізнаванні [22]. Авторами розшифровано молекулярні механізми біосинтезу, секреції та дії сигнальних хімічних речовин коренів. Одним з напрямків досліджень є розробка методологічних стратегій, за

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

допомогою яких встановлюють роль алелопатичних речовин з кореневих ексудатів.

Кореневі ексудати мають різноманітні функції, наприклад глікозиди та синильна кислота пригнічують ріст патогенних грибів; флавоноїди відповідають за колонізацію везикулярно-арбускулярної мікоризи; фітоалексини та нафтохінони захищають клітини кореня рослин від колонізації патогенними мікроорганізмами; розмаринова кислота має антифунгальну дію щодо *Phytophthora cinnamoni*; сесквітерпени викликають розгалуження гіф мікроміцетів у мікоризі. Відомо, що ризосферні бактерії роду *Pseudomonas* (PGPR) можуть використовувати пули кореневого ексудату для попередників - регуляторів росту рослин. Так, триптофан є попередником індолоцтової кислоти (ІОК) та фітогормону ауксину та сприяє росту та розвитку рослин.

Комунікації в ризосфері мають каскадний комплекс регуляторних реакцій, який реагує на конкретну сполуку, викликаючи як відповідь транскрипцію специфічних локусів. Багато аскоміцетів, що населяють мікробіом, виділяють сигнальні молекули, переважно спирти, які є активними учасниками процесів розвитку рослин. N-ацилгомосеринові лактони (AHL), клас сигнальної молекули QS, також можуть діяти як сигнали між організмами, які регулюють експресію генів рослин у навколишньому середовищі, системну стійкість рослин до стресу, а також як ефектори росту та розвитку рослин.

Мікробіом ризосфери має вирішальне значення для росту, живлення та здоров'я рослин. Він складається з великої різноманітності геномів еукаріотів, вірусів і прокаріотів. Позитивний вплив мікробіому ризосфери на ріст і розвиток рослин обумовлено секрецією гормонів росту рослин, солюбілізацією поживних речовин, антагонізмом до патогенів та індукцією імунної системи рослин [23]. Продукування рослинами сполук вуглецю та інших речовин у складі ексудатів у навколишнє середовище збільшує різноманітність мікробіому.

Кореневі екзометаболіти визначають рівень хемотаксису бактерій, підтримують вологість ґрунту та змінюють його хімі-

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

чні властивості, стабілізують ґрунтові агрегати навколо коренів і контролюють пригнічення росту рослин-конкурентів.

Взаємодія рослин і мікроорганізмів включає активацію та інактивацію генів, а також індукцію та пригнічення реакцій на різні сигнали [24]. Виявлено, що у коренях рису наявні трансмембранні білки (транспортери МАТЕ), які переносять хімічні і токсичні сполуки та сприяють виділенню фенольних сполук у ксилему рослини. Такі транспортери як МАТЕ, здатні передавати фітохімічні сполуки з коренів у мікробіом ризосфери. Однак вони не експортують антимікробні сполуки, що ставить під сумнів їхню роль у біоконтролі [25].

Білки-транспортери АВС, що зв'язують АТФ, розміщені в клітинах коренів. Ці транспортери залучені до позаклітинної секреції білків, які є складовими кореневих екзометаболітів. В свою чергу, пригнічення транспортерів АВС призводить до посилення сприйнятливості коренів до патогенних мікроорганізмів. Це пояснюється зниженою секрецією антифунгальних сполук, таких як дитерпеновий склареол [26]. Однак, окрім транспортерів МАТЕ і АВС, існує ще велика кількість транспортерів, які можуть брати активну участь у захисних механізмах рослин. Досліджено, що за біотичного стресу у рослин *Medicago truncatula* відбувається пригнічення синтезу транспортера АВС, що зменшує синтез медікарпіну в фенілпропаноїдному шляху. Це призводить до підвищення рівня ізофлавоноїдів у рослин. Транспортери АВС модулюють синтез та ексудацію захисних фітохімічних речовин, які можуть бути модифіковані мікробіомом. Наприклад, зниження експресії гена MtABCG10, що кодує білок АВС у *Medicago truncatula*, призводить до підвищення інфікування коренів грибом *Fusarium oxysporum*. Окрім цього визначено, що дефіцит азоту активізує біосинтез геністеїну (ізофлавонолу), який зв'язується з білком NodD і ініціює утворення бульбочок з коренів сої [26].

Фенольні сполуки є активними компонентами захисних метаболічних систем рослин. Водночас вони можуть діяти як сигнальні молекули, використовуючи захисні реакції рослин як про- або антиоксиданти, можуть впливати на рівні вільних

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

радикалів, кількість яких збільшується в клітинах за стресів різної етіології [16].

Хімічна передача сигналів між коренями рослин та іншими ґрунтовими мікроорганізмами, базується на складових кореневих екзометаболітів. Деякі спеціалізовані метаболіти, такі як проліни, кумарини та органічні кислоти, можуть сприяти росту рослин в умовах абіотичного стресу (тобто посухи, солоності та дефіциту поживних речовин) або через покращене засвоєння поживних/мінеральних речовин, або через активну осморегуляцію коренів. Під час певного біотичного стресу, вивільняються спеціальні кореневі ексудати, такі як фенольні сполуки, нелеткі терпеноїди, леткі терпени та сірчані сполуки (наприклад, диметилдисульфід (DMDS), диметилтрисульфід (DMTS)), які можуть безпосередньо пригнічувати ураженість рослин патогенами і шкідниками, що передаються через ґрунт. Прикладом подібної передачі хімічних сигналів є секретація ізофлавононів коренями сої, що приваблює як мутуалістів (*Bradyrhizobium japonicum*), так і патогенів, наприклад *Phytophthora sojae*.

Флавоноїди становлять велику частку вторинних метаболітів, отриманих з фенілпропаноїдів, у рослинах, що є складовими кореневих екзометаболітів. Похідні ізофлавоноїдів, такі як фітоалексин писатин з *P. sativum*, є важливими протимікробними сполуками в бобових рослинах. Встановлено, що нелеткі та напівлеткі терпеноїдні фітохімічні речовини можуть секретуватися в мікробіом [27]. Флавоноїди, що присутні в кореневих ексудатах бобових, активують гени *Rhizobium meliloti*. Зазначені гени відповідають за процес утворення бульбочок на коренях рослин. Флавоноїди також можуть бути відповідальними за утворення везикулярно-арбускулярної мікоризи (ВАМ).

Наявність мікроорганізмів впливає на якісний та кількісний склад флавоноїдів, присутніх у ризосфері, як через модифікацію кореневих ексудатів, так і через мікробний катаболізм ексудатів. Мікробні сукцесії і ослаблення сигналів фенольних сполук може мати екологічні наслідки у взаємодії рослина – мікроорганізми. Такі природні захисні механізми, що за-

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

безпечують біомолекули фенольних сполук, заслуговують на особливу увагу в аспекті їхнього практичного використання як альтернативи хімічному контролю збудників хвороб [28].

Відомо, що трансмембранні рецептори – патерн-розпізнаючі рецептори (PRRs) контролюють неспецифічний імунітет рослин. PRR є білками, які присутні на поверхні клітин імунної системи і здатні розпізнавати стандартні молекулярні структури, специфічні для великих груп патогенів. Їх також називають рецепторами розпізнавання патогену. Розпізнавання консервативних мікробних доменів (патоген-асоційованих молекулярних структур, PAMP) за допомогою PRRs ініціює активацію мітоген-активованих протеїнкіназ (MAPKs), генерацію активних форм кисню (АФК), виділення іонів  $Ca^{2+}$ , транскрипційне перепрограмування, біосинтез гормонів та відкладення калози у клітинній стінці.

В останні роки розпізнавання патернів стало важливим процесом в імунних реакціях рослин. Наявність рецепторів розпізнавання патернів (PRR) дає можливість рослинам сприймати різні молекулярні сигнали, властиві певним класам мікроорганізмів, що взаємодіють з ними. Ці взаємодії можуть бути патогенними або не патогенними [28]. Рослини здатні виявляти наявність мікроорганізмів за допомогою PRR, які зв'язуються з мікроб-асоційованими молекулярними патернами (MAMP). MAMP продукуються бактеріями в ризосфері. Зв'язування PRR-MAMP активує імунну відповідь рослини для пригнічення патогенних мікроорганізмів. Імунна відповідь запускає сигнальний каскад, який активує фактори транскрипції, активні форми кисню, певні форми азоту та гени, пов'язані із захистом рослин [29].

Відомо, що культурні рослини, які характеризуються високою стійкістю до фітопатогенних мікроорганізмів, зумовлюють значний селективний тиск на їх популяції, що призводить до відбору патогенних та агресивних форм. Сильно сприйнятливі рослини забезпечують швидкий ріст чисельності популяцій фітопатогенів. Крім того доведено, що незалежно від стійкості до хвороб, деякі сорти культурних рослин можуть підвищувати репродуктивну здатність патогенних мікроміцетів, що

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

призводить до істотного зростання інтенсивності фітопатогенного фону — чинника біологічного забруднення агроєкосистем.

Кореневі екsudати утворюють захисний комплекс хімічних сполук у мікробіомі. Відомо, що як низько- так і високомолекулярні метаболіти, які є складовими корневих екsudатів, сприяють захисту рослин від ґрунтових фітопатогенних мікроорганізмів. Відповідно до цього, наприклад, надмірна експресія гена *Arabidopsis*, який регулює біосинтез камалексину та саліцилової кислоти (SA), підвищує стійкість рослин сої до нематод. Активація зазначених генів стійкості, в результаті інфекції, активує внутрішній синтез, накопичення і секрецію камалексину. В той же час депресія цих генів призводить до пригнічення утворення камалексину і збільшення ураження рослин патогенами. Стриголактони, перебуваючи в ризобіомі під час зараження корневими паразитичними рослинами, беруть участь у симбіозі рослин з арбускулярними мікоризними грибами. Один із цих ефектів здійснюється шляхом втручання в шляхи гормонального захисту, сприяючи тим самим явним стресовим реакціям, викликаним рослинами в ризобіомі. Про це також свідчить пригнічення росту безлічі фітопатогенних грибів за присутності синтетичного аналогу стриголактону GR24 [30].

Відомо, що фотосинтетично фіксований вуглець, який є складовою корневих екзометаболітів, і низькомолекулярних антимікробних сполук, таких як фітоантиципіни та фітоалексини, є важливими для росту, розвитку та захисту рослин від хвороб.

З іншого боку фітоалексини захищають клітини кореня рослин від колонізації патогенними мікроорганізмами. Відомо, що спектр хімічних елементів корневих екзометаболітів є різноманітним. Він включає велику кількість антимікробних сполук. Наприклад, розмаринова кислота в корневому екsudаті солодконого базиліка, має антифунгальну дію стосовно *Phytophthora cinnamoni*. В той же час *Lithospermum erythrorhizon* продукують пігментовані нафтохінони, що також беруть участь у захисті ризосфери рослин від патогенних мік-

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

роорганізмів. Приваблення рухомих зооспор ооміцетів - патогенів рослин, до поверхні коренів рослин відбувається за механізмом, який включає використання електричних потенціалів у коренях рослин, що утворюються в результаті електрогенного транспорту іонів на їхній поверхні.

Бактерії, що мають корисні для рослин властивості, прийнято позначати аббревіатурою PGPR (plant-growth-promoting-rhizobacteria або рістстимулюючі ризобактерії). Одним з механізмів ріст стимуляції рослин ґрунтових бактерій групи PGPR є утворення гормонів росту. Наприклад, синтез гіберелової кислоти та цитокініну притаманний для *Azospirillum*, *Arthrobacter* та *Azotobacter*.

До механізмів бактерій, що пригнічують розвиток фітопатогенних мікроорганізмів, належать: здатність продукувати сидерофори, хелатори заліза, які роблять залізо недоступним для патогенів; антифунгальні метаболіти; ферменти, що лізують клітинну стінку грибів, регуляція рівня рослинного гормону етилену за участю ферменту АЦК-деамінази у відповідь на стресовий вплив фітопатогенів. Бактерії також здатні конкурувати з фітопатогенними грибами за поживні речовини або специфічні ніші на кореневій системі, а також здатні викликати системну резистентність.

Мікоризний симбіоз призводить до зменшення симптомів та підвищення стійкості рослин до патогенних мікроорганізмів. Вивчено роль гриба *Glomus mossea* у біологічному захисті пшениці від збудника сажки (*U. agropyri*). Виявлено, що інокуляція ВАР пригнічує захворюваність головнею з 48,2% до 23% за подвійної інокуляції *G. mosseae* і *U. agropyri*. Подвійна інокуляція також призводить до збільшення сухої маси коренів і пагонів, а також урожайності. Відомо, що кілька родів бактерій (*Streptomyces*, *Agrobacterium*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Bacillus*, *Serratia*, *Azotobacter* і флуоресцентні штами *Pseudomonas*) здатні контролювати захворювання рослин.

Відомо, що кореневі екзометаболіти впливають на ріст та розвиток багатьох патогенних грибів, які належать до родів: *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Sclerotium*, *Aphanomyces*, *Pythium*, *Verticillium* та *Phytophthora*, особливо в результаті стимуляції

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

кореневими екзометаболітами сприйнятливих сортів рослин-живителів. Мікробіом ризосфери може включати симбіонтів, які проникають в корені, як мікоризні гриби або ризобії. Окрім мобілізації поживних речовин, бактерії ризосфери можуть забезпечувати захист рослин від патогенних ґрунтових мікроорганізмів, сприяючи росту рослин.

Виявлено, що дитерпеновий ризотален А продукується та вивільняється неінфікованими коренями *A. thaliana*, та є частиною системи регуляції захисту коренів. Рослини з дефіцитом ризоталену А більш сприйнятливі до шкідників. Отже, мікробіом є не лише місцем взаємодії фітопатогенів з рослинами, а також місцем забезпечення захисту рослин від збудників хвороб та шкідників.

За результатами власних досліджень, доведено значні варіації чисельності основних груп мікробіоти залежно від досліджуваного зразка ґрунту. Так, загальна кількість мікроорганізмів, які використовують переважно органічні сполуки азоту, за вирощування сорту Кент із додаванням біопрепарату Мікохелп була в 3,3 рази вищою у порівнянні як із контрольним так і з еталонним варіантами (рис.5).



**Рис. 5. Чисельність основних фізіологічних груп мікроорганізмів в агроземі за взаємодії сортів сої з біопрепаратами**

Джерело: розроблено автором на основі власних досліджень.



## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

В свою чергу, що за вирощування сої сорту Сузір'я найвища чисельність вищезазначеної фізіологічної групи була відмічена для варіанту із додаванням біопрепарату Фітохелп ( $6,4 \times 10^6$  КУО/г ґрунту), що у 18,8 та 5,3 рази вище, ніж у контрольному ( $3,4 \times 10^5$  КУО/г ґрунту) та еталонному ( $1,2 \times 10^6$  КУО/г ґрунту) варіантах, відповідно.

Встановлено, що за вирощування сої сорту Кент із додаванням біопрепарату Фітохелп чисельність азотфіксуючих бактерій знижувалась на 48,7 %, у порівнянні із контролем ( $2,3 \times 10^5$  КУО/г ґрунту). В той час як за вирощування сої сорту Сузір'я із додаванням біопрепаратів Фітохелп та Мікохелп зменшення чисельності азотфіксуючих бактерій у порівнянні із контрольним варіантом не відбувалось (табл.1). Азотфіксуючі бактерії ґрунту представлені переважно видами роду *Azotobacter*, які здатні засвоювати із повітря атмосферний азот і у процесі життєдіяльності утворювати із молекулярного азоту білки та інші органічні сполуки азоту, які використовуються рослинами. На зниження їх чисельності в ґрунті може впливати високий вміст фенольних сполук в корневих екзо-метаболітах рослин.

Встановлено, що чисельність мікроорганізмів, які використовують мінеральні форми азоту у зразках із додаванням біопрепарату Мікохелп (сорт Кент) була на два порядки вищою, ніж у контролі. Підвищення чисельності вищезазначеної групи мікроорганізмів спостерігали також при вирощуванні сої сорту Сузір'я із додаванням біопрепарату Фітохелп. Велика кількість іммобілізаторів мінерального азоту вказує на включення його в процеси метаболізму мікроорганізмів, що призводить до створення умов їхньої конкуренції за даний елемент.

Визначено, що зразки ґрунту із додаванням біопрепарату Фітохелп (сорт Сузір'я) характеризувались найвищою чисельністю оліготрофів, яка виявилась на 1-2 порядки вищою, ніж у еталонному та контрольному зразках, відповідно. Зростання кількості оліготрофів свідчить про доступність легкозасвоюваних речовин, які накопичуються в процесі трансформації органічних решток, зокрема рослинних. Це сприяє покращенню трофічних зв'язків у структурі мікробного комплексу ґрунту.

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

Чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів, що активно функціонують у мікробоценозі на початкових етапах трансформації органічної речовини, знаходилась в межах норми ( $10^3$ - $10^4$  КУО/г ґрунту). Так, зразки 4 ( $1,7 \times 10^4$  КУО/г ґрунту) та 7 ( $1,5 \times 10^4$  КУО/г ґрунту) характеризувались вищою кількістю мікроорганізмів даної групи, у порівнянні із контрольними зразками.

Встановлено, що кількість спороутворюючих бактерій за вирощування сої сорту Кент із додаванням біопрепаратів Фітохелп та Мікохелп знижується в 5 та 2,9 разів у порівнянні із контролем ( $2,6 \times 10^5$  КУО/г ґрунту). Наявність спороутворюючих бактерій у ґрунті свідчить про активну участь у процесах деструкції органічних решток.

Таким чином доведено, що чисельність азотфіксуючих бактерій у ґрунті за вирощування сої сорту Кент із додаванням біопрепарату Фітохелп знизилась на 48,7 %, у порівнянні із контролем, що може свідчити про високу кількість фенольних сполук у корневих екзометаболітах цього варіанту. У всіх досліджуваних зразках ґрунту, за значеннями коефіцієнту мінералізації та іммобілізації азоту відбувається послаблення процесів деструкції органічної речовини і переважання її синтезу.

Відомо, що момілактон А накопичується в листках рослин рису, уражених фітопатогенними мікроміцетами. Окрім момілактону А - прототипу фітоалексину, рівень фітоантиципіну (антимікробна сполука, що присутня в рослинах за будь-якого зараження патогенними мікроорганізмами) також може підвищуватися за інфікування патогенами. Момілактон А з іншими корневими ексудатами викликає активність як фітоантиципінів, так і індукованих патогенами фітоалексинів. З іншого боку, зменшення фітоантиципіну спостерігається в корневих волосках за синтезу  $\beta$ -криптогену. Це свідчить про його регуляторну дію на секрецію фенольних сполук у мікробіомі. Наприклад, аномальний синтез  $\beta$ -криптогену в корневих волосках *Coleus blumei* імітує інфікування патогенами і, як наслідок, посилює синтез розмаринової кислоти, яка, у свою чергу, проявляє антимікробну активність. Декілька антифунгаль-

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

них фенілпропаноїдних кореневих ексудатів були індуковані у *Hordeum vulgare* в результаті взаємодії рослини з *Fusarium graminearum*. За взаємодії з рослинами бактерії утворюють захисні біоплівки або продукують антибіотики, які використовуються як біоконтроль проти фітопатогенів.

Грампозитивні і грамнегативні бактерії, включаючи фітопатогенні бактерії, мають систему розпізнавання, яка контролює експресію кількох генів, що відповідають за патогенність. Такі бактерії продукують і виділяють аутоіндуктори. Вони зв'язуються зі своїм рецептором і активують транскрипцію генів, у тому числі для синтезу індуктора. Виявлено, що грампозитивні стрептоміцети регулюють утворення спор, а також вироблення антибіотиків за допомогою сигналу кворуму, який називається А-фактором. Іншими механізмами біоконтролю, які використовуються ріст стимулюючими мікроорганізмами є інтерференція кворуму, антибіоз і конкуренція за поживні речовини. Більшість ризобактерій і ризосферних грибів також виробляють метаболіти, які пригнічують ріст патогенів. Грампозитивні і грамнегативні бактерії мають систему розпізнавання кворуму, яка контролює експресію кількох генів, необхідних для патогенності. Сигналами для визначення кворуму є N-ацилгомосеринові лактони (AHL), пептидними аутоіндукторами та А-фактор для стрептоміцетів. Подібно до не патогенних мікроорганізмів, патогенні індують у рослинах шлях метаболізму саліцилової кислоти замість жасмонової кислоти/етилену. Наприклад, до таких організмів належать *P. syringae* та біотрофний гриб *U. maydis*, який викликає сажкову хворобу кукурудзи.

Сидерофори відіграють роль хімічних сигналів для міжвидової комунікації між бактеріями в природній мікробній екосистемі. Мікроорганізми ризосфери за допомогою сидерофорів беруть участь у зв'язуванні мікроелементів, таких як залізо, які існують переважно в нерозчинній формі, що робить їх недоступними для рослин. Поглинаючи ці поживні речовини, вони позбавляють патогени доступу до цих елементів, що призводить до пригнічення розвитку патогенів. Мікробіом ризосфери може впливати на популяції рослин, що призводить до

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

взаємного співіснування конкурентів в одному середовищі [31]. Це може бути або позитивна асоціація, що включає симбіоз живителя, або негативна, за участю патогенів, або нейтральна. Сигнальні молекули корневих екзометаболітів розпізнають ризосферні мікроорганізми, які, у свою чергу, синтезують відповідні сигнальні молекули, та ініціюють реакції рослин, необхідні для їх колонізації. Хемотаксис бактерій до коренів є важливим параметром конкурентної колонізації, що стимулюється вуглеводами та амінокислотами корневих екзометаболітів, які впливають на рухливність джгутиків. Білки зовнішньої мембрани бактерій також відіграють важливу роль у ранньому розпізнаванні живителя. Ці білки у *Azospirillum brasiliense* зв'язуються з іммобілізованими на мембрані екстрактами коренів кількох видів рослин з різною спорідненістю. Мікробіом ризосфери може взаємодіяти з корневими аглютинінами, присутніми в корневих ексудатах [31].

Вивільнення флавоноїдів з коренів бобових активує транскрипцію *rhizobia nod factor* (NF), тобто ліпохітоолігосахаридів (LCOS). Ці фактори пояснюють специфічність ризобії-господаря. У рослин наявні білки LysM-рецепторної кінрази, що зв'язуються і реагують на MAMP. Встановлено їхню роль у формуванні бульбочок різних рослин.

Не менш важливою є взаємодія між бобовими і грамнегативними азотфіксуючими бактеріями. Вільноживучі протеобактерії (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Azorhizobium* і *Photrhizobium*) можуть інокулювати бобові рослини та встановлювати з ними симбіотичні зв'язки. Утворені в результаті бактеріального метаболізму з органічного матеріалу сполуки азоту стимулюють розвиток рослин. Наприклад, розвиток вільної азотфіксуючої бактерії *Azospirillum vinelandii* контролюється сполуками вуглецю, що продукують рослини. Під час росту у ґрунті з низьким вмістом азоту у присутності бактерій *A. vinelandii*, рослини використовують фіксовані сполуки азоту.

Здатність будь-якого мікроорганізму, що стимулює ріст, впливати на зміни архітектури коренів призводить до збільшення кількості корневих волосків та сприяє більшому пог-

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

линанню поживних речовин рослиною. Про це свідчать роботи Олаха та ін., в яких доведено, що кількість бічних коренів *Medicago truncatula* збільшується за впливу ліпохітінолігосахаридів (LCOs). Про збільшення довжини, площі поверхні та кількості коренів у *A. thaliana* за інокуляції *Bradyrhizobium japonicum*-LCOs повідомляє ряд авторів. Відомо, що бактерії змінюють морфологію коренів і збільшують їх біомасу. Завдяки цьому корені отримують більше поживних речовин з ґрунту. Було показано, що обробка ауксинами посилює колонізацію коренів ґрунтовими бактеріями, наприклад, *Azospirillum*. Гіфальне розгалуження мікроміцетів забезпечує контакт з коренем живителя та сприяє утворенню симбіозу. Сигнальні молекули рослин індукують розгалуження і запускають морфогенез гіф гриба, що передує успішній колонізації. Кореневі виділення із рослин з обмеженим вмістом фосфатів є більш активними, ніж із рослин з достатньою кількістю фосфору. Це свідчить про те, що розгалуження в коренях регулюються доступністю фосфору у ґрунті. Наприклад, виявлено сесквітерпени, з ексудатів коренів рослин *Lotus japonicus*, які викликають розгалуження гіф мікроміцетів у мікоризі, що може стати корисним у встановленні нової ролі корневих ексудатів у взаємодії рослини та мікоризи. Захисні процеси, які завжди запускаються у відповідь на мікробну інвазію, модулюються в мікоризі.

Везикулярно-арбускулярна мікориза (ВАМ) утворює тісний і взаємовигідний зв'язок між кореневою системою рослини та мікоризним грибом. Щоб задовольнити потреби рослини-живителя і гриба, який знаходиться в арбускулярній мікоризі (АМ), відбуваються метаболічні процеси, які забезпечують їхню адаптацію. Як і ризобії, мікоризні гриби, розпізнають свого сумісного живителя за допомогою корневих екзометаболітів. ВАМ-індуковані кореневі ексудати сприяють як розвитку мікробних асоціацій в ризосфері так і росту рослин.

Оскільки ризосфера є середовищем високої мікробної активності, слід враховувати вплив мікроорганізмів на процеси мобілізації/імобілізації чи деградації органічних забруднень. Органічні забруднювачі можуть піддаватися ферментативному впливу та мікробіологічному розкладу. Інтенсифікація сіль-

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

ського господарства мала довгостроковий шкідливий вплив і призвела до збільшення концентрації важких металів у ґрунті. Під впливом важких металів істотно змінюється склад продукованих мікроорганізмами екзометаболітів. Дуже часто це виявляється у синтезі речовин, які є шкідливими для вищих рослин та стають причиною токсикозу ґрунту. Так, наприклад, показано, що під впливом сполук Pb у дерново-підзолистому легкосуглинистому ґрунті під культурами гороху та вівса відбувалися зміни метаболічних процесів у грибів роду *Alternaria*, що сприяло утворенню токсичних для рослин сполук.

Взаємодія рослин із ґрунтовими мікроорганізмами відіграє важливу роль в стійкості рослин, наприклад за рахунок зменшення біодоступності металів в ґрунті за допомогою різних механізмів. Так, гени, що належать родині транспортерів МАТЕ, які кодують транспортні білки цитрата, активують виділення органічних кислот кореневою системою. Виділення бурштинової, яблучної, лимонної та деяких інших кислот та їх похідних (малата, цитрата, оксалату, сукцинату), які хелатують алюміній у кореневій зоні ґрунту, є ефективним механізмом стійкості багатьох культур. Органічні кислоти та їх похідні, що виділяються корінням рослин, видоспецифічні.

Біоаккумуляція міді, кадмію та нікелю була виявлена у стрептоміцетах, групі грампозитивних бактерій, що домінують на бідних ґрунтах з високим вмістом важких металів. Крім того, була перевірена здатність мікрOMICETІВ, у тому числі ектомікоризних грибів, до біоаккумуляції важких металів. Це пов'язано із здатністю важких металів зберігатися у вигляді фосфатних солей у вакуолі клітин грибів. В умовах стресу, таких як посуха, забруднення важкими металами або дефіцит поживних речовин, ВАМ забезпечує рослини водою та поживними речовинами і діє як біофільтр для важких металів, сприяючи росту рослин.

Отже, коренева ексудація є однією з найважливіших функцій рослинних організмів, що сприяє регуляції у взаємодії між рослинами і ґрунтовими мікроорганізмами у системі «рослина – ґрунт – мікроорганізми» на основі активації та інактивації генів, а також індукції чи пригніченні реакцій на різні

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

сигнали. Кореневі ексудати беруть участь у кількох типах взаємодій, як позитивних (симбіотичні відносини, стимулюванням росту рослин мікроорганізмами групи PGPR, мікоризними грибами), так і негативних.

Взаємний вплив рослин у фітоагроценозах здійснюється, головним чином, через кореневі системи. Дія корневих екзо-метаболітів може виявлятися як на рівні молекулярних та ультраструктурних змін клітини, так і на рівні біохімічних та фізіологічних процесів. За дії алелохімічних речовин або сигнальних хімічних речовин відбувається регуляція міжвидової або внутрішньовидової взаємодії рослин і мікроорганізмів. Алелопатичні сполуки зазвичай створюють «множинні каскадні ефекти», які впливають на сукцесію мікробних спільнот, просторову структуру, мутуалістичні асоціації, цикл азоту в ґрунті, продуктивність і захист рослин. У відповідь рослини розвивають складні молекулярні та фізіологічні механізми для кращої адаптації, толерантності та виживання. Дослідження корневих екзо-метаболітів рослин дозволить краще зрозуміти взаємовідносини рослин та мікроорганізмів, що визначають їх роль як екологічного чинника у мікробно-рослинних асоціаціях.

### **Література до розділу 1:**

1. Лупенко Ю.О. Стратегічні напрями розвитку сільського господарства України на період до 2020 року. Месель-Веселяка. К.: ННЦ "ІАЕ", 2012. 182 с.
2. Парфенюк А.І. Фітопатогенний фон в агрофітоценозах, що створюють різні сорти рослин. Біорізноманіття екосистем. *Агроекологічний журнал*. 2011. № 2. С. 81–85.
3. Парфенюк А.І. Сорти сільськогосподарських культур, як фактор біоконтролю фітопатогенних мікроорганізмів в агрофітоценозах. *Агроекологічний журнал*. 2009. № 3. С. 248–250.
4. Medina, Á., González-Jartín, J.M., Sainz, M.J. Impact of global warming on mycotoxins. *Current Opinion in Food Science*. 2017. Vol.18. P. 76-81.
5. Battilani P., Toscano P., Van der Fels-Klerx HJ, Moretti A., Camardo Leggieri M., Brera C., Rortais A., Goumperis T.,

## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

Robinson T. Aflatoxin B1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. *Scientific reports*. 2016. Vol. 6(1). P. 1-7. DOI: 10.1038/srep24328

6. Medina A., Akbar A., Baazeem A., Rodriguez A., Magan N. Climate change, food security and mycotoxins: do we know enough? *Fungal Biol Rev*. 2017. Vol. 31(3). P. 143-154. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2017.04.002>

7. Magan N., Aldred D. Environmental fluxes and fungal interactions: maintaining a competitive edge. *British Mycological Society Symposia Series*. 2007. Vol. 27. P. 19-35. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0275-0287\(08\)80044-6](https://doi.org/10.1016/S0275-0287(08)80044-6)

8. Stevenson A., Hamill P.G., Medina A., Kminek G., Rummel J.D., Dijksterhuis J., Timson D.J., Magan N., Leong S-LL, Hallsworth J.E. Glycerol enhances fungal germination at the water-activity limit for life. *Environmental microbiology*. 2016. Vol. 19. P. 947-967. DOI: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13530>

9. Городиська І.М., Ліщук А.М., Чуб. А.О., Монарх В.В. Особливості органічного насінництва сої в контексті євроінтеграції України. *Зб. наукових праць ВНАУ*. 2018. Вип. №9. С.89–101.

10. Maksimov I.V., Abizgil'dina R.R., and Pusenkova L.I. Plant growth promoting rhizobacteria as alternative to chemical crop protectors from pathogens. *Appl. Biochem. Microbiol*. 2011. Vol. 47 (4). P. 333–345.

11. Javaid A., Shoaib A. Allelopathy for the Management of Phytopathogens. *Allelopathy: Current trends and future applications*. 2013. P. 299–319.

12. Patni B., Chandra H., Mishra A.P., et al. Rice allelopathy in weed management—an integrated approach. *Cellular and Molecular Biology*. 2018. Vol. 64 (8). P. 84–93.

13. Postolaky O., Syrбу T., Poiras N., et al. Streptomycetes and micromycetes as perspective antagonists of fungal phytopathogens. *Commun. Agric. Appl. Biol. Sci*. 2012. Vol. 77 (3). P. 249–257.

14. Moretti L.G., Crusciol C.A.C., Kuramae E.E., et al. Effects of growth-promoting bacteria on soybean root activity, plant development and yield. *Agronomy Journal*. 2020. Vol. 112. P.418–428.



## РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В АГРОСФЕРІ

---

15. Бородай В.В., Косовська Н.А. Парфенюк А.І., Тертична О.В. Вплив біопрепаратів фітохелп і мікохелп на мікробіоту ґрунту за вирощування сої (*Glycine max* (L.) Merr.). *Агроекологічний журнал*. 2022. Вип. №1. С. 99 – 109. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.255183>

16. Kong, C. H., Xuan, T. D., Khanh, T. D., Tran, H. D., & Trung, N. T. (2019). Allelochemicals and signaling chemicals in plants. *Molecules*. Vol. 24(15). P. 2737.

DOI: <http://doi.org/10.3390/molecules24152737>

17. Туровнік Ю.А., Безноско І.В., Гаврилюк Л.В., Мосійчук І.І. Агресивність гриба *Alternaria alternata* (fr.) Keiss за впливу гібридів соняшника та технологій його вирощування. *Збалансоване природокористування*. 2022. №2. С. 93 – 99. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2022.261257>

18. Scavo, A., Restuccia, A., Mauromicale, G. Allelopathy: Principles and Basic Aspects for Agroecosystem Control. *Sustainable Agriculture Reviews* 28. 2018. Vol. 28. P. 47 – 101. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-90309-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-90309-5_2)

19. Kong, C.H.; Zhang, S.Z.; Li, Y.H.; Xia, Z.C.; Yang, X.F.; Meiners, S. J.; & Wang, P. Plant neighbor detection and allelochemical response are driven by root-secreted signaling chemicals. *Nature Communications*. 2018. Vol. 9(1). P. 3867.

20. Novoplansky, A. What plant roots know? *Seminars in Cell & Developmental Biology*. 2019. Vol. 92. P. 126-133. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.semcdb.2019.03.009>

21. Jacoby, R.P., Chen, L., Schwier, M., Koprivova, A., & Kopriva, S. Recent advances in the role of plant metabolites in shaping the root microbiome. *F1000Research*. 2020. Vol. 9. DOI: <https://doi.org/10.12688/f1000research.21796.1>

22. Kong, X.X., Luo, L.D., Zhao, J.J., Chen, Q., Chang, G. X., Huang, J. L., Hu, X. Y. Expression of FRIGIDA in root inhibits flowering in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*. 2019. Vol. 70(19). P. 5101-5114. DOI: <http://doi.org/10.1093/jxb/erz287>

23. Verbon E.H., Liberman L.M. Beneficial microbes affect endogenous mechanisms controlling root development. *Trends Plant Sci*. 2016. Vol. 21(3). P. 218–229.

24. Catherine M.-B., Joel L.S. Symbiotic nitrogen fixation by rhizobia — the roots of a success story. *Plant J.* 2018. Vol. 44. P. 7–15

25. Baetz U. (2016) Root exudates as integral part of belowground plant defence. Belowground defence strategies in plants. Springer, Berlin, pp 45–67.

26. Jiao Y., Wang E., Chen W., Smith D.L. Complex interactions in legume/cereal intercropping system: role of root exudates in root-to-root communication. *BioRxiv.* 2017. 097584. DOI:<https://doi.org/10.1101/097584>

27. Sohrabi R., Ali T., Harinantenaina Rakotondraibe L., Tholl D. Formation and exudation of non-volatile products of the arabidiol triterpenoid degradation pathway in *Arabidopsis* roots. *Plant Signal Behav.* 2017. Vol. 12(1). e1265722.

28. Ruiz C., Nadal A., Foix L., Montesinos L., Montesinos E., Pla M. Diversity of plant defense elicitor peptides within the Rosaceae. *BMC Genet.* 2018. Vol.19(1). P. 1–11.

29. Rosier A., Medeiros F.H., Bais H.P. Defining plant growth promoting rhizobacteria molecular and biochemical networks in beneficial plant-microbe interactions. *Plant Soil.* 2018. Vol. 428(1–2). P. 35–55.

30. Rasmann S., Bennett A., Biere A., Karley A., Guerrieri E. Root symbionts: powerful drivers of plant above-and belowground indirect defences. *Insect Sci.* 2017. Vol. 24(6). P. 947–960.

31. McCormick S. Rhizobial strain-dependent restriction of nitrogen fixation in a legume-rhizobium symbiosis. *Plant J.* 2018. Vol. 93(1). P. 3–4.

---

## РОЗДІЛ 2.

### ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ

*Дем'янюк О.С., Симочко Л.Ю., Перейра П.А.*

**Ключові слова:** *антибіотикорезистентність, резистом, війна, екологічні ризики, здоров'я людини, навколишнє середовище, Концепція «Єдине здоров'я», біобезпека*

Стійкість до протимікробних препаратів або антибіотикорезистентність (АР) є однією з ключових проблем у всьому світі, яка набула загрозливих соціально-економічних масштабів. Водночас цю проблему тривалий час розуміли і розглядали в аспекті охорони здоров'я людини, присвячуючи значну кількість наукових досліджень. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) визнала проблему АР однією з 10 глобальних загроз здоров'ю населення, що стоять перед людством, та необхідність прийняття нагальних заходів щодо пом'якшення її наслідків [1].

Про приховану небезпеку антибіотиків і формування стійкості до них у мікроорганізмів та підвищення ризику для здоров'я людей свідчить значна кількість публікацій за останні 50 років. АР визначають як здатність мікроорганізмів протистояти дії антибіотика, до якого вони були раніше чутливі, що дає змогу мікроорганізмам виживати та розмножуватися [2; 3]. Тобто формування стійкості є звичайним еволюційним процесом для організмів, але цей процес прискорюється через селективний тиск різних чинників, зокрема неправильним або надмірним використанням антимікробних препаратів [4].

Формування АР організмами в усіх випадках зумовлено генетично, внаслідок набуття нової генетичної інформації або зміни рівня експресії власних генів. Мікроорганізми здатні передавати інформацію про стійкість до антибіотиків шляхом горизонтальної передачі генів під час безпосереднього контакту однієї бактерії з іншою. Отже, АР є неминучим явищем, оскільки мікроорганізми розвивають генетичні мутації для пом'якшення летального ефекту антибіотиків [5]. Проте, швидкість, з якою формується і розповсюджується резистентність мікроорганізмів, зокрема бактерій до антибактеріальних препаратів, вражає. Лікарські засоби, які ще декілька років тому

## **РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ**

---

були ефективними, нині втрачають свої позиції, а їх використання вимушено обмежується. І це є реальною загрозою для профілактики та лікування бактеріальних інфекцій, що створює значне медичне та економічне навантаження на системи охорони здоров'я та населення [6; 7; 8].

ВООЗ ще у 2014 р. зазначала, що криза резистентності до антибіотиків набуває жахливого характеру, а більшість організацій охорони здоров'я описали швидку появу резистентних бактерій як «кризу» або «кошмарний сценарій», що може мати «катастрофічні наслідки» [9]. Це ставить під загрозу можливість досягнення Цілей Сталого Розвитку Організації Об'єднаних Націй, зокрема Цілі № 3 «Забезпечення здорового способу життя та сприяння благополуччю для всіх у будь-якому віці».

У Європейському Союзі (ЄС) підтверджено близько 33 тис. смертей пов'язаних з АР, що еквівалентно майже 1,5 млрд євро на рік витрат на охорону здоров'я [10]. У США фіксують понад 2,8 млн випадків на рік стійкості до антибіотиків, у т.ч. понад 35 тис. смертей [11; 12]. У Китаї загальні суспільно-економічні витрати, пов'язані з АР у стаціонарних пацієнтів, оцінено у 77 млрд дол., що еквівалентно 0,37% ВВП Китаю в 2017 р. і створює значне навантаження на здоров'я пацієнтів і систему охорони здоров'я [13]. У майбутньому (до 2050 р.) 10 млн життів на рік і 100 трлн дол. економічного виробництва можуть опинитися під загрозою [5; 14; 15]. Крім смерті та інвалідності, затяжний перебіг хвороб призводить до подовження термінів госпіталізації, вимагає більш дорогого лікування та призводить до зростання фінансових витрат для осіб, які зіткнулися з цією проблемою.

ВООЗ визначила АР як головну загрозу здоров'ю людству [1], а у звіті за 2017 р. зазначено, що сучасні антибіотики втрачають свою ефективність, оскільки були розроблені шляхом модифікації існуючих класів і мають короткі цикли впливу [16]. Проблема АР разом із дефіцитом інноваційних антибіотиків ще більш загострює ситуацію в глобальному масштабі через швидке поширення внаслідок продовольчого постачання, зростання населення в містах та міжнародні подорожі [17; 18; 19]. Відсутність розробки нових антибіотиків обмежує кількість ефективних сучасних препаратів проти бактерій, стійких до багатьох антибіотиків, і сприяє збільшенню поширення АР [20].

## **РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ**

---

Основними причинами виникнення стійкості до протимікробних препаратів є неправильне та надмірне їх застосування, втрата чутливості пацієнтів і самолікування, відсутність доступу людей, а також тварин до чистої води, засобів санітарії та гігієни, незадовільна профілактика інфекцій та неналежний інфекційний контроль у медичних закладах та сільськогосподарських підприємствах, обмежений доступ до якісних та прийнятних за ціною лікарських препаратів, вакцин та засобів діагностики, низький рівень обізнаності та знань, відсутність контролю за дотриманням законодавства тощо.

Вперше про потенційну небезпеку та ризики для здоров'я людини, пов'язані з невибірковим використанням значної кількості антибіотиків без дотримання норм, висловив Сванн ще наприкінці 70-х років минулого століття [21], а нині офіційні статистичні дані свідчать про щорічне зростання випадків АР від необґрунтованого, надмірного та неконтрольованого використання антибіотиків у медицині, тваринництві та інших галузях сільського господарства. Існує переконливий зв'язок між антимікробною інфекцією та надмірним використанням протимікробних препаратів [22]. Про значні обсяги використання антибіотиків свідчать і дані Експертної комісії США по боротьбі з антибіотикостійкими бактеріями, згідно з якими щорічно у світі використовують близько 73 млрд. разових доз антибіотиків або 300 тис. т на рік. Іншим чинником формування АР є збільшення доступності протимікробних препаратів у країнах, що розвиваються, з недосконалыми механізмами контролю.

В Україні також фіксують зростання загального обсягу всіх продажів і закупівель антимікробних препаратів на 40% у 2020 р. порівняно з 2018 р. В аптечній мережі об'єми продажів таких препаратів зросли на 34% [23].

Ситуація в Україні поглиблюється з відсутністю державного контролю і обліку споживання антимікробних препаратів. Лише з 1 січня 2022 р. Україна запровадила на державному рівні адміністрування та облік використання в закладах охорони здоров'я антимікробних препаратів, відповідно до якого моніторингу буде підлягати 29 лікарських засобів. Ці препарати відносять до антибіотиків групи спостереження (лікарські засоби, які широко використовуються для лікування бактеріальних інфекцій у якості першої та другої лінії терапії) та антибіотиків групи резерву (лікарські засоби «останньої на-

## РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ

---

дії», які використовують для лікування вкрай тяжких бактеріальних інфекцій, коли інші антибіотики є неефективними) [23].

Резистентні інфекції потребують більшої кількості, іноді сильніших препаратів, які можуть бути дорогими та мати серйозні побічні ефекти. Патогени, проти яких протимікробні препарати не ефективні і можуть призвести до смерті пацієнта називають «панрезистентними», частково ефективні – «полірезистентними». Як приклад, полірезистентними мікроорганізмами є бета-лактамазо- та карбапенемазопродукуючі штами ентеробактерій, метицилін- та ванкомицинрезистентні стафілококи, панрезистентні штами – це *Pseudomonas aeruginosa* та бактерії роду *Acinetobacter*.

Серед грампозитивних патогенів наразі становить найбільшу загрозу глобальна пандемія резистентних видів *Staphylococcus aureus* і *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*. У США фіксують найбільше смертей від *Staphylococcus aureus* (MRSA), ніж сукупно від ВІЛ/СНІД, хвороби Паркінсона, емфіземи легенів та вбивств. Грамнегативні збудники викликають особливе занепокоєння, оскільки стають стійкими майже до всіх доступних видів антибіотиків. Найсерйозніші грамнегативні інфекції трапляються в медичних закладах і найчастіше спричиняються *Enterobacteriaceae* (переважно *Klebsiella pneumoniae*), *Pseudomonas aeruginosa* та *Acinetobacter*. MDR-грамнегативні збудники також стають все більш поширеними. До них належать *Escherichia coli* та *Neisseria gonorrhoeae*, що продукують бета-лактамази широкого спектру дії [6, 24].

Лише протягом останнього десятиліття АР стали розглядати як комплексну проблему, яка поєднує здоров'я людини, здоров'я тварин і навколишнє середовище [25] та потребує узгоджених дій багатьох секторів з питань здоров'я людини, здоров'я тварин і рослин, виробництва продовольства і кормів, охорони навколишнього природного середовища та ін. Оскільки стійкі до протимікробних препаратів мікроорганізми присутні у людей і тварин, у продуктах харчування, рослинах та навколишньому природному середовищі (у воді, ґрунті та повітрі). Вони можуть передаватися від людини до людини або між людьми та тваринами, у т.ч. із харчовими продуктами тваринного походження. Це було задекларовано в Концепції «Єдине здоров'я» (One Health), яка зосереджена на наслідках,

## **РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ**

---

реакціях і діях у системі «тварина – людина – екосистеми» [26]. Особливо на нових та ендемічних зоонозах, які мають набагато більший вплив хвороб у країнах, що розвиваються, вплив на суспільство в умовах бідних ресурсів, резистентність до антимікробних препаратів, оскільки резистентність може виникати у людей, тварин або навколишньому середовищі та може поширюватися між країнами.

Концепцією «Єдине здоров'я» визначено, що здоров'я людей, тварин і екосистем взаємопов'язані. Це передбачає застосування скоординованого, спільного, міждисциплінарного та міжгалузевого підходу для усунення потенційних або існуючих ризиків, які виникають у зв'язку між тваринами, людиною та екосистемами. Без синхронізованого та багатогалузевого підходу Концепції «Єдине здоров'я» світ може повернутися до епохи до антибіотиків [2; 27].

Згодом було досягнуто консенсусу на міжнародному рівні та створено Трансатлантичну робочу групу з протимікробної стійкості (2009 р.), створено Глобальну систему нагляду за стійкістю до протимікробних препаратів (GLASS) при ВООЗ (2015 р.), розроблено Глобальний план дій по боротьбі зі стійкістю до протимікробних препаратів (2015 р.), засновано Міжурядову координаційну групу (2016 р.) при ООН, створено і запущено G20 Global AMR Research and Development Hub (2018 р.), підготовлено звіт Міжвідомчої координаційної групи з протимікробної резистентності (квітень 2019 р.), створено тристоронній спільний секретаріат ФАО, Всесвітньої організації охорони здоров'я тварин (WOAH) і ВООЗ, ініційовано Глобальне партнерство з наукових досліджень та розробок антибіотиків (GARDP) та сформовано Глобальну групу лідерів боротьби зі стійкістю до протимікробних препаратів (2020 р.), що стало підтвердженням наростаючої глобальної проблеми, яка немає кордонів, і ставить під загрозу існування людства. Зазначені політичні рішення свідчать про готовність світу застосовувати широкий, скоординований підхід щодо усунення глибинних причин стійкості до протимікробних препаратів у багатьох секторах економіки та розробляти національні плани дій щодо стійкості до протимікробних препаратів на основі Глобального плану дій.

У глобальному контексті Концепція «Єдине здоров'я» об'єднує молекулярні, епідеміологічні аспекти, які сприяють

## **РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ**

---

розумінню еволюції або генетичного зв'язку АР у патогенах/переносниках, господарі (людина/тварина) та пов'язаному середовищі в глобальному масштабі. Соціально-економічні чинники, такі як світова торгівля, конфлікти, переміщення, подорожі, міграція людей і тварин, є важливими чинниками глобального поширення АР [28; 29]. Натомість на місцевому рівні Концепція визначає географічно близькі екосистеми, які мають вирішальне значення у виникненні та поширенні АР. Наразі основна увага приділена залишкам антимікробних речовин у харчових продуктах, які можуть накопичуватися через неконтрольоване використання антибіотиків у тваринництві і сільському господарстві. Харчові продукти можуть бути контаміновані АР мікроорганізмами протягом усього ланцюга від виробництва продукції тваринництва і рослинництва до споживання [30; 31].

Для зменшення глобальних ризиків, пов'язаних із АР, національні та міжнародні організації почали розробляти політику контролю за використанням антибіотиків та фінансувати дослідження, спрямовані на виявлення причин резистентності і вирішення проблем забруднення навколишнього середовища протимікробними препаратами та їх залишками. Так, наприклад у ЄС у рамках Європейського Зеленого Курсу була прийнята Стратегія «Від ферми до виделки», яка визначає зменшення загального обсягу продажів та застосування антимікробних препаратів для тварин та аквакультури на 50% до 2030 року.

Проте, згідно зі звітом ООН, із 106 країн лише 29 мають національні системи нагляду. Тому важливо, щоб кожна країна включала зацікавлені сторони з різних секторів (таких як уряд, промисловість, експерти, практики та міжнародні організації) для досягнення мети щодо зменшення споживання антибіотиків [14].

В Україні розроблено і затверджено Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 116-р Національний план дій щодо боротьби із стійкістю до протимікробних препаратів [32], який спрямовано на: забезпечення раціонального використання протимікробних препаратів у сфері охорони здоров'я, ветеринарної медицини та харчової промисловості відповідно до кращих світових та європейських практик, впровадження дієвої системи епідеміологічного нагляду за антибіотикорезистентністю, її інтеграції до загальноєвро-



## **РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ**

---

пейської мережі, мінімізуванню ризиків формування та поширення внутрішньолікарняних штамів мікроорганізмів, які мають стійкість до протимікробних препаратів, приведення у відповідність до вимог ЄС лабораторної діагностики інфекційних хвороб та визначення чутливості мікроорганізмів до протимікробних препаратів, проведення наукових досліджень із проблем АР та впровадження новітніх методів діагностики у координації з провідними європейськими та світовими центрами.

Тобто ключові положення Концепції «Єдине здоров'я» нині ввійшли до Глобальних та національних планів дій боротьби з антимікробною резистентністю. Однак, визнається, що більше уваги варто приділяти екологічним аспектам проблеми АР, а саме поглиблювати розуміння значення навколишнього природного середовища в поширенні стійких до антибіотиків мікроорганізмів і генів стійкості до них у середині та між людьми, рослинами та тваринами. Моніторинг навколишнього природного середовища може надати важливу інформацію для обмеження поширення АР, що включає оцінку генів стійкості до антибіотиків, що циркулюють серед людей, визначення ключових «гарячих точок» в еволюції та поширенні резистентності, інформування про епідеміологічні моделі та моделі оцінки ризику для здоров'я людини тощо [33].

Потрібні скоординовані зусилля та міждисциплінарне співробітництво для пом'якшення АР на місцевому, національному та міжнародному рівнях. Сильна політична прихильність може відігравати важливу роль у формулюванні політики, реалізації та регулярних освітніх оновленнях на основі наукових даних для кращого регулювання використання та продажу антибіотиків, контролю неетичного просування антибіотиків і впроваджувати стратегії для усунення надмірного або неналежного їх використання [34].

З поширенням і виникненням епізоотій, зоонозів та епідемій ризику пандемій ставали все більш критичними не лише для людей, а й тварин. Ця ситуація посилювалась унаслідок забруднення навколишнього природного середовища, зростання непередбачуваних наслідків взаємодії людини, тварини та екосистеми, що впливало на еволюцію та появу нових патогенів та формування АР до існуючих небезпечних біологічних агентів. Останніми дослідженнями доведено, що забруднення та інші чинники, пов'язані з індустріалізацією протягом

## РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ

---

останніх 150 років, є основним чинником розповсюдження АР [35; 36].

Протимікробні препарати, що застосовують для лікування людей, а також у тваринництві та рослинництві, потрапляють у навколишнє природне середовище та джерела води (у т.ч. питної) з рідкими та твердими відходами, побутовими та каналізаційними стоками. Отже навколишнє природне середовище є резервуаром залишкових кількостей протимікробних речовин, резистентних патогенних мікроорганізмів та інших молекул із протимікробними властивостями, що підвищує поширення генів резистентності в угрупованнях мікроорганізмів. Це може сприяти більш інтенсивній появі та поширенню «супермікробів», стійких одразу до кількох видів протимікробних препаратів, та нести потенційну загрозу іншим живим організмам в екосистемах [37].

Отже, стійкі до антимікробних препаратів мікроорганізми є всюди і можуть поширюватися в нові екологічні ніші, передаючи резистентність іншим організмам [38; 39]. Визнаючи це, у 2022 р. Глобальна група лідерів боротьби зі стійкістю до протимікробних препаратів напередодні сесії Асамблеї ООН з навколишнього середовища закликала всі країни скорочувати обсяг застосування протимікробних препаратів, що потрапляють у довкілля з відходами. Для цього, зокрема, необхідно виробити та здійснити заходи щодо безпечної утилізації відходів харчової промисловості, медицини, ветеринарії та виробничих підприємств, що містять залишки таких препаратів.

Поширенню стійкості до протимікробних препаратів можуть також сприяти кліматичні зміни, які впливають на екосистеми і біоту. Дослідження доводять, що за підвищення глобальних та місцевих температур призвело до зростання стійкості до протимікробних препаратів та показників бактеріального інфікування серед людей, тварин, рослин [40]. Доведено, що підвищення температури на 10°C є причиною зростання стійкості до антибіотиків на 2,2–4,2% у поширених збудників бактеріальних інфекцій *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* і *Staphylococcus aureus*, зв'язок між температурою та стійкістю до антибіотиків є постійним для більшості класів антибіотиків і патогенів та з часом може посилюватися [41].

## РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ

---

ФАО зазначає, що поява АР у харчовому ланцюзі є проблемою, пов'язаною з широким використанням антибіотиків у аквакультури, тваринництві та рослинництві [42].

Антибіотики десятиліттями використовують не лише в медичних цілях, а й як профілактичний засіб у різних сферах, включаючи тваринництво та інші галузі сільського господарства [43]. Вважається, що лікування худоби антимікробними препаратами покращує загальний стан здоров'я тварин, забезпечуючи більший приріст маси та отримання більш якісного продукту [44]. Водночас 60% усіх інфекційних мікроорганізмів людини походять саме від тварин [45].

Однак, наявна доволі значна доказова база, яка свідчить, що неправильне використання антибіотиків у тваринництві, як стимуляторів росту або як неспецифічних засобів профілактики та лікування інфекцій, підвищило споживання антибіотиків та стійкість серед бактерій у середовищі існування тварин. Стійкі бактерії можуть спричинити серйозні наслідки для здоров'я людини через передачу резистентності до антибіотиків патогенним мікроорганізмам, спричиняючи хвороби, які важко лікувати, а тому мають вищі показники захворюваності та смертності. Крім того, поширення стійких до антибіотиків штамів може відбуватися у навколишньому середовищі через відходи тваринного походження, посилюючи рівень АР, який існує в мікробіомі навколишнього середовища [46].

Стійкі до антибіотиків бактерії, виявлені в організмі тварин, можуть бути патогенними для людини, легко поширюватися харчовими ланцюгами та широко поширюватися в екосистемі через відходи тваринництва. В організмі людини це може спричинити розвиток складних, невиліковних і тривалих інфекцій.

Шляхи впливу АР є непрямими через споживання їжі та прямими через контакт із зараженими тваринами або біологічними компонентами (тобто кров, сеча, фекалії, слина, сперма) [47]. Це відбувається через послідовність: 1) використання антибіотиків при вирощуванні тварин, які знищують або пригнічують чутливість бактерій, що дає змогу розвиватися стійким до антибіотиків бактеріям; 2) стійкі бактерії передаються людині через їжу; 3) ці бактерії з високою ймовірністю можуть викликати інфекції у людей з подальшими ускладненнями для здоров'я [11]. Передачу резистентних бактерій від сільськогосподарських

## **РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ**

---

тварин до людини вперше було помічено понад 40 років тому, коли в мікробіомі кишківника тварин було виявлено високі показники стійкості до антибіотиків. Молекулярними методами доведено, що стійкі бактерії від сільськогосподарських тварин потрапляють до людини через м'ясні продукти [6; 48].

У тваринництві антибіотики часто використовують із профілактичною метою та прогнозується, що до 2030 р. таке використання зросте майже на 67% у всьому світі [49].

Стійкі до антимікробних препаратів бактерії та/або гени стійкості до антимікробних препаратів (перенесення в патогенних бактеріях) можуть забруднювати їжу на будь-якому етапі, від поля до роздрібної торгівлі і споживання. Тому важливо контролювати використання антибіотиків під час виробництва продуктів харчування як у тваринництві, так і рослинництві для зменшення ризику АР у людей [50].

Морепродукти, вирощені в аквакультурних системах і на фермах, позначаються як «гарячі точки» АР через більш значний генетичний обмін, який робить морепродукти більш сприйнятливими до отримання резистентності. АР у харчових продуктах, отриманих з аквакультури, може знизити антибактеріальну ефективність у людей. Аквакультура також уможливила непряму передачу резистентних генів із водного середовища (бактерій) патогенам, які пов'язані з людиною [51, 52]. Результати досліджень свідчать, що стійкі до антибіотиків мікроорганізми та гени АР, виявлені у людей, присутні у тварин, які не контактували з людьми. Тобто передача АР людям відбувається через споживання заражених харчових продуктів або через неправильне поводження з їжею.

Шляхи розповсюдження мікроорганізмів і генів АР у навколишньому природному середовищі нині активно досліджуються. Наприклад у тваринництві це може бути через контакт із зараженими м'ясними продуктами, професійний контакт (фермери, м'ясники, пакувальники, продавці тощо) і потенційне вторинне поширення у ширшій спільноті від тих, хто професійно піддається впливу, або поширюватися екологічними шляхами, включаючи повітря, воду або ґрунт, у районах поблизу тваринницьких ферм або ферм, де гній використовують як добриво [53].

Воду, зокрема питну, забруднену фекаліями тварин або людини, що містить АР, розглядають як ключове джерело по-

## **РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ**

---

ширення АР, залишків антибіотиків, позаклітинних мобільних генетичних елементів, пов'язаних із стійкими до АР організмами, та джерело нових генів стійкості до антибіотиків [54]. Міські стічні води та від тваринницьких комплексів, оборотна вода, стоки від підприємств з виробництва антимікробних препаратів визначені як гарячі точки для стійких до антибіотиків бактерій і генів, що поширюються в навколишнє природне середовище та потребують особливого моніторингу [55; 56].

У рослинництві потенційним шляхом розповсюдження АР є генетично модифіковані рослини. Під час генетичної модифікації гени-маркери АР використовують для ідентифікації трансформованих клітин. Гени стійкості потенційно можуть передаватися комменсальним бактеріям, пов'язаним із рослинами, ґрунтом і тваринами.

Забруднення антибіотиками або їх залишками, які надходять із різних джерел, є важливим чинником формування резистому ґрунту – сукупності ґрунтових мікроорганізмів із високим рівнем стійкості до антибіотиків, що несе потенційну загрозу здоров'ю людині та має у перспективі невизначені і важкоконтрольовані екологічні наслідки [56; 57].

Серед ймовірних потужних чинників поширення АР у глобальному масштабі є воєнні конфлікти та їх наслідки. І нині це питання у світі є актуальним внаслідок розв'язаної рф війни проти України у 2014 р. та широкомасштабного збройного вторгнення 24 лютого 2022 р. Війна це стрімко зростаюча гуманітарна криза та криза з біженцями, геополітичні, економічні та екологічні хвилі, які відчуваються у всьому світу [58].

Проблема АР в умовах воєнних конфліктів є комплексною, яка охоплює питання нормативного і законодавчого регулювання, державного контролю за застосуванням антимікробних препаратів та системи нагляду поширення антибіотикорезистентних мікроорганізмів, епідеміологічного нагляду, кваліфікованих кадрів та ін. Але кожна країна має свої специфічні умови і потребує відповідних підходів у вирішенні проблеми.

Нині в умовах війни Україна має вирішувати низку важливих соціально-економічних і екологічних завдань, у першу чергу пов'язаних із забезпеченням безпеки життя і здоров'я українців, продовольчої та енергетичної безпеки тощо, що впливає на досягнення Цілей Сталого Розвитку [59], та які прямо чи опосередковано пов'язані з проблемами АР.

## **РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ**

---

Внаслідок бойових дій відбувається не лише руйнування військових об'єктів, військової та цивільної інфраструктури, житлових масивів, а й смерть, каліцтва, різноманітні поранення і травми серед військовослужбовців та цивільного населення. Через атаки, обстріли та бомбардування постійно зростає кількість людей, які отримали поранення та, як наслідок, – інвалідність (у тому числі з важкими формами) як серед мирних мешканців, зокрема дітей, так і військових. За даними Управління Верховного комісара ООН з прав людини від 19 грудня 2022 р., за час війни вбито 6826 та поранено 10769 цивільних осіб (зокрема вбито 428 та поранено 790 дітей). Першочерговим завданням залишається надання своєчасної, якісної, медичної допомоги, у т.ч. антимікробної терапії, в багатьох випадках задля збереження життя потерпілого, попередження тяжких наслідків та швидкому відновленню бое- та працездатності. Зростає необхідність застосування антибіотиків під час лікування в результаті поранень, травм або отриманої інвалідності, що потребує постійної підтримуючої терапії, захворювання при несенні служби у місцях ведення бойових дій. Водночас світова тенденція підвищення стійкості мікроорганізмів до антибактеріальних препаратів має негативні наслідки при лікуванні бойової патології [60-62]. Також існують непрямі впливи, внаслідок повного порушення повсякденного соціального життя, інфраструктури, погіршення екологічної ситуації.

Війна завдала значного удару по системі охорони здоров'я. Станом на початок листопада ВООЗ підтвердила 630 атак на заклади охорони здоров'я України, внаслідок яких пошкоджено та зруйновано 1157 об'єктів охорони здоров'я [63]. Ці атаки є порушенням міжнародного права, зокрема Женевських конвенцій. Для відбудови системи охорони здоров'я України знадобиться від 14,6 до 20 млрд євро [64].

Руйнування медичної інфраструктури, неможливість дотримання норм профілактики та лікування, брак медичних кадрів у деяких регіонах та порушення логістичних зв'язків перешкоджає вчасному та повному забезпеченню населення засобами медичного призначення. З огляду на те, що попит на медичні послуги суттєво змінився в різних регіонах унаслідок переміщення значної частини громадян усередині країни та за її межі, загострилися диспропорції ресурсного забезпечення галузі охорони здоров'я [65; 66]. Зросли ризики для стану здо-

## **РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ**

---

ров'я українців, що виникли через меншу доступність ліків в аптечній мережі, зниження широкого доступу до кваліфікованої медичної допомоги та медичних послуг, загострення хронічних хвороб за впливу посттравматичного стресового розладу не лише серед військових, а й серед цивільних, які постраждали від бойових дій. За відсутності кваліфікованих фахівців-медиків має місце безконтрольне використання антибіотиків у зоні бойових дій, самолікування без нагляду лікарів, у т.ч. із профілактичною метою. Окреме питання до якості цих препаратів, а саме до умов зберігання та термінів придатності. Також відсутня достовірна інформація про обсяги антимікробних препаратів, які ввезені загарбниками на територію України, їх безконтрольне застосування та утилізацію тощо.

В Україні існує проблема низької поінформованості щодо небезпеки і потенційних загроз АР та питань, пов'язаних із показаннями до застосування, ефектами антибактеріальних препаратів та принципами раціональної антибіотикотерапії як серед медиків і фармацевтів, так і пересічних громадян. Проведене нами опитування щодо розуміння ризиків АР показало, що 93% пересічних українців взагалі не чули про цю проблему, 86% – вважають лікування антибіотиками ефективним і віддають перевагу таким лікарським засобам.

Дослідження Центру громадського здоров'я МОЗ України свідчать, що понад 28% пацієнтів, які перебувають на стаціонарному лікуванні, отримують антибіотик із метою профілактики, і в близько 5% пацієнтів – причина призначення антибіотика була невідомою. Також результати опитувань, проведених у різні роки в Україні серед населення показали, що близько 30% українців лікують застуду антибіотиками [67].

При оцінюванні знань щодо використання антибіотиків під час підготовки військових лікарів виявлено недостатній рівень обізнаності та прогалини в знаннях, а тому в майбутньому лікарі в своїй професійній діяльності не зможуть проводити якісну освітню роботу в службі Збройних Сил України, а отже випадатиме важлива ланка в профілактиці формування та поширення АР штамів мікроорганізмів [68].

Крім того в Україні питання раціонального використання антибіотиків є ще більш актуальним через вільний доступ населення до антимікробних препаратів, не завжди оптимальне

## **РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ**

---

використання у повсякденній практиці та самолікування. Лише в квітні 2022 р. на державному рівні було прийнято обмеження доступу до антибіотиків [69] та у травні 2022 р. затверджено Стандарт медичної допомоги «Раціональне застосування антибактеріальних і антифунгальних препаратів з лікувальною та профілактичною метою» [23].

З початком широкомасштабного вторгнення армії РФ однією з найскладніших проблем постало питання логістики лікарських засобів та медичних виробів. Особливо в регіонах, де відбувались активні бойові дії, через невизначеність ситуації щодо тимчасової окупації територій, ризиками на дорогах. Через періодичні ускладнення вантажопотоку в пунктах пропуску вантажі низки фармацевтичних компаній затримуються під час перетину кордону. Крім того, перевезення певних лікарських засобів, сировини для їх виготовлення та виробів медичного призначення вимагають дотримання відповідних умов зберігання [65]. А отже система охорони здоров'я України має дефіцит якісної фармацевтичної продукції, тому проблему частково доведеться вирішувати самим громадянам, що може негативно позначитися на їхньому рівні життя і здоров'я, сприяти формуванню АР.

Має місце і проблема якості медикаментів та фальсифікованих лікарських засобів. Ця проблема актуальна та важлива у будь-який час у будь-якій країні, але вона набуває особливого значення в період війни, коли від якості та ефективності дії лікарських засобів залежить життя людей.

Найбільш вразливими до фальсифікованих лікарських засобів є країни, які мають низький та середній рівень достатку, райони конфліктів або цивільних заворушень, погано розвинені або відсутні системи охорони здоров'я, низький рівень роботи регуляторних органів, недосконалу законодавчу систему або неефективну систему кримінального правосуддя, високий рівень корупції та неналагоджену політичну систему, обмежений доступ до лікарських засобів. Всі ці чинники, на жаль, нині існують й в Україні [70], а також ще низка чинників: відсутність досконалої законодавчої бази, яка б перешкоджала фальсифікації ліків; високі ціни на ліки, дефіцит або нестабільність постачання; відсутність контролю за імпортом лікарських засобів; торгівля через багатьох посередників та зони вільної торгівлі.



## **РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ**

---

Одним із шляхів поширення АР у світі є міграція людей [18; 19]. Серед мігрантів інфекційні захворювання, що загострюються внаслідок АР, викликають особливе занепокоєння. Мігранти, як і всі мобільні верстви населення, включаючи туристів, потенційно піддаються численним штамам АР, але піддаються особливому ризику через переповненість та неадекватні умови в таборах біженців і центрах утримування, надзвичайний психологічний стрес через умови нестабільності, які вони відчувають, і часто відсутність доступу до медичної допомоги при станах, які інакше легко піддаються лікуванню.

Бойові дії спричинили порушення систем життєзабезпечення (газо-, тепло-, електро- та водопостачання) і понад 2,7 млн українців залишилися без житла. Відповідно до урядових даних, зібраних Управлінням Верховного комісара ООН у справах біженців, у період з 24 лютого по 28 червня 2022 р. 8,2 млн біженців виїхали з України в сусідні країни [58]. Внутрішньо переміщеними особами стали понад 6,9 млн українців. Переміщення такої маси людей стало найбільшою міграційною кризою в Європі з часів Другої світової війни та спричинило навантаження на різні соціальні сфери, у т.ч. медичну і екологічну [63], та відповідно підвищує ризики поширення АР на інші території, оскільки ця проблема не має кордонів.

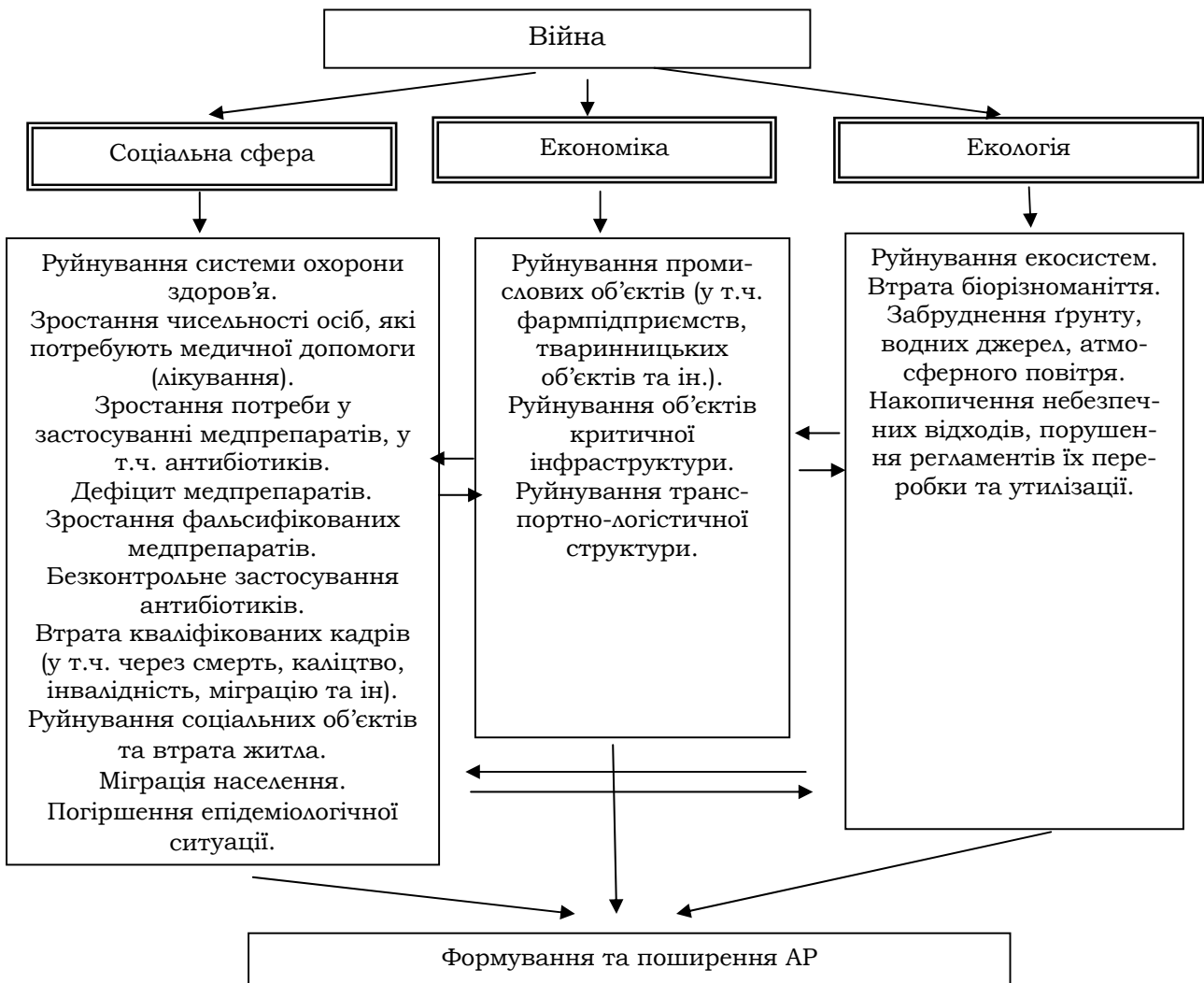
Незважаючи на те, що епідагляд за АР в європейських країнах є одним із найдосконаліших у світі, наявні дані ВООЗ свідчать про те, що мігранти піддаються впливу умов, які є сприятливими для розвитку АР [71].

Унаслідок руйнування будівель, медичних закладів і складів зберігання медичних препаратів, промислових об'єктів, у т.ч. тваринницьких підприємств, утворилася велика кількість відходів, що містять небезпечні речовини, і тим самим впливають на поширення АР у довкіллі та формуванні резистому [56; 57].

Проблема АР немає географічних, галузевих та екологічних кордонів, не визнає мирного чи воєнного стану. Водночас в умовах війни ризики формування АР і поширення на глобальному рівні зростають і можуть мати катастрофічні наслідки в найближчому майбутньому. Україна в умовах війни із зруйнованою системою охорони здоров'я, кризовим станом навколишнього природного середовища, порушеним епідеміологічним наглядом, постійно зростаючою кількістю поранених і

## РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ

вбитих, втратою кваліфікованих медиків, біологів та інших спеціалістів та дефіцитом якісних антимікробних препаратів, високою міграцією людей в сусідні країни тощо, є потужним чинником у формуванні АР та поширенні (рис. 1).



**Рис. 1. Чинники формування АР та поширення у світі за умов ведення воєнних дій**

*Джерело: сформовано авторами.*

Нині вирішення проблеми біобезпеки та поширення АР потребує розроблення дієвих заходів із попередження і стримування рівня стійкості до антибіотиків, врахування всіх факторів ризику формування та поширення мікробної резистентності в контексті воєнних дій, використання світового досві-

## РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ

---

ду пом'якшення проблеми на засадах Концепції «Єдине здоров'я» та підвищення інформованості про важливість вирішення цієї зростаючої загрози для людства.

### Література до розділу 2:

1. WHO (2019). Ten Threats in Global Health in 2019. URL: <https://www.who.int/news-room/spotlight/ten-threats-to-global-health-in-2019>
2. Uddin T.M., Chakraborty A.J., Khusro A., Zidan B.M.R.M., Mitra S., Emran T.B., Dhama K., Ripon Md.K.H., Gajdacs M., Sahibzada M.U.K., Hossain Md.J., Koirala N. Antibiotic resistance in microbes: History, mechanisms, therapeutic strategies and future prospects. *Journal of Infection and Public Health*. 2021. Vol. 14(12). P. 1750-1766.
3. Zaman S., Hussain M.A., Nye R., Mehta V., Mamun K.T., Hossain N. A review on antibiotic resistance: alarm bells are ringing. *Cureus*. 2017. Vol. 9(6), P. 1403.
4. WHO (2018). Report on Surveillance of Antibiotic Consumption: 2016–2018 Early Implementation. URL: [https://www.who.int/medicines/areas/rational\\_use/who-amr-amc-report-20181109.pdf](https://www.who.int/medicines/areas/rational_use/who-amr-amc-report-20181109.pdf)
5. Subramaniam G., Girish M. Antibiotic resistance – a cause for reemergence of infections. *Indian J Pediatr*. 2020. Vol. 87. P. 937-944.
6. Golkar Z., Bagazra O., Pace D.G. Bacteriophage therapy: a potential solution for the antibiotic resistance crisis. *J Infect Dev Ctries*. 2014. Vol. 8(2). P. 129–136.
7. Smith K.M., Machalaba C.C., Seifman R., Feferholtz Y., Karesh W.B. Infectious disease and economics: The case for considering multi-sectoral impacts. *One Health*. 2019. Vol. 7. P. 100080.
8. World Bank (2012). People, Pathogens and our Planet: The Economics of One Health. Washington, DC. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/11892>
9. Viswanathan V.K. Off-label abuse of antibiotics by bacteria. *Gut Microbes*. 2014. Vol. 5(1). P. 3–4.
10. European Centers for Disease Control and Prevention (2019). Antimicrobial resistance: trackling the burden in the European Union. 2019. URL:

## РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ

---

<https://www.oecd.org/health/health-systems/AMR-Tackling-the-Burden-in-the-EU-OECD-ECDC-Briefing-Note-2019.pdf>

11. Centers For Disease Control Prevention (2019). Antibiotic resistance threats in the United States. 2019. URL: <https://www.cdc.gov/drugresistance/pdf/threats-report/2019-ar-threats-report-508.pdf>

12. University of Oxford (2021). New Resistance-Busting Antibiotic Combination Could Extend the Use of ‘Last-Resort’ Antibiotics. Available online: [www.sciencedaily.com/releases/2021/12/211213111649.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2021/12/211213111649.htm)

13. Zhen X., Lundborg C.S., Sun X., Zhu N., Gu S., Dong H. Economic burden of antibiotic resistance in China: a national level estimate for inpatients. *Antimicrob Resist Infect Control*. 2021. Vol.10. P. 5.

14. O’Neill J. Tackling Drug-Resistant Infections Globally: Final Report and Recommendations; Review on Antimicrobial Resistance: London, UK, 2016, Vol. 10. P. 1–84.

15. Woolhouse M., Waugh C., Perry M.R., Nair H. Global disease burden due to antibiotic resistance – state of the evidence. *J Glob Health*. 2016. Vol. 6(1).

16 WHO (2017). The World is Running Out of Antibiotics, WHO Report Confirms. URL: <https://www.who.int/news/item/20-09-2017-the-world-is-running-out-of-antibiotics-who-report-confirms>

17. Holmes A.H., Moore L.S.P., Sundsfjord A., Steinbakk M., Regmi S., Karkey A., Guerin P.J., Piddock L.J.V. Understanding the mechanisms and drivers of antimicrobial resistance. *Lancet*. 2016. Vol. 387. P. 176-187.

18. Desai A.N., Mohareb A.M., Hauser N., Abbara A. Antimicrobial Resistance and Human Mobility. *Infect Drug Resist*. 2022. Vol. 15. P.127-133.

19. Mangrio E., Paul-Satyaseela M., Sjögren Forss K., Zdravkovic S., Strange M. Antimicrobial Resistance & Migrants in Sweden: Poor Living Conditions Enforced by Migration Control Policies as a Risk Factor for Optimal Public Health Management. *Front. Public Health*. 2021. Vol. 9. P. 642983.

20 Quadri F., Mazer-Amirshahi M., Fox E.R., Hawley K.L., Pines J.M., Zocchi M.S., May L. Antibacterial Drug Shortages From 2001 to 2013: Implications for Clinical Practice. *Clin. Infect. Dis*. 2015. Vol. 60. P. 1737-1742.

## РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ

---

21. Swann M.M. Use of Antibiotics in Animal Husbandry and Veterinary Medicine; Stationery Office: London, UK. 1969. Vol. 791. P. 1525–1531.

22. Costelloe C., Metcalfe C., Lovering A., Mant D., Hay A. Effect of antibiotic prescribing in primary care on antimicrobial resistance in individual patients: Systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2010. Vol. 340. P. 2096.

23. Міністерство охорони здоров'я України. Україна починає обліковувати антимікробні препарати. Електронний ресурс: <https://moz.gov.ua/article/news/ukraina-pochinae-oblikovuvati-antimikrobni-preparati>

24. Rossolini G.M., Arena F., Pecile P., Pollini S. Update on the antibiotic resistance crisis. *Clin Opin Pharmacol*. 2014. Vol. 18. P. 56–60.

25. Aljeldah M.M. Antimicrobial Resistance and Its Spread Is a Global Threat. *Antibiotics*. 2022. Vol. 11. P. 1082.

26. Mackenzie J.S., Jeggo M. The One Health Approach-Why Is It So Important? *Trop Med Infect Dis*. 2019. Vol. 4(2). P. 88.

27. Aslam B., Wang W., Arshad M.I., Khurshid M., Muzammil S., Nisar M.A., Alvi R.F., Aslam M.A., Qamar M.U., Salamat M.K.F., Baloch Z. Antibiotic resistance: A rundown of a global crisis. *Infect. Drug Resist*. 2018. Vol. 11. P. 1645–1658.

28. Hernando-Amado S., Coque T.M., Baquero F., Martínez J.L. Defining and Combating Antibiotic Resistance From One Health and Global Health Perspectives. *Nat. Microbiol*. 2019. Vol. 4(9). P. 1432–1442.

29. McMichael C. Climate Change-Related Migration and Infectious Disease. *Virulence*. 2015. Vol. 6(6). P. 548–553.

30. Aslam B., Khurshid M., Arshad M.I., Muzammil S., Rasool M., Yasmeen N., Shah T., Chaudhry T.H., Rasool M.H., Shahid A., Xueshan X., Baloch Z. Antibiotic Resistance: One Health One World Outlook. *Front. Cell. Infect. Microbiol*. 2021. Vol. 11. P. 771510.

31. Buschhardt T. Günther T., Skjerdal T., Torpdahl M., Gethmann J., Filippitzi M.E., Maassen C., Jore S., Ellis-Iversen J., Filter M. A. One Health glossary to support communication and information exchange between the human health, animal health and food safety sectors. *One Health*. 2021. Vol.13. P. 100263.

## РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ

---

32. Про затвердження Національного плану дій щодо боротьби із стійкістю до протимікробних препаратів. Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/npas/proogo-planu-dij-shchodo-borotbi-iz-stijkistyuu-do-protimikrobnih-preparativ>

33. Liguori K., Keenum I., Davis B.C., Calarco J., Milligan E., Harwood V.J., Pruden A. Antimicrobial Resistance Monitoring of Water Environments: A Framework for Standardized Methods and Quality Control. *Environmental Science & Technology*. 2022. Vol. 56(13). P. 9149-9160.

34. Murugaiyan J, Kumar P.A., Rao G.S. et al. MBM on behalf of the Global AMR Insights Ambassador Network. Progress in Alternative Strategies to Combat Antimicrobial Resistance: Focus on Antibiotics. *Antibiotics*. 2022. Vol. 11(2). P. 200.

35. Baquero F., Coque T.M., Martínez J.L., Aracil-Gisbert S., Lanza V.F. Gene transmission in the one health microbiosphere and the channels of antimicrobial resistance. *Frontiers in Microbiology*. 2019. Vol. 10. P. 2892.

36. Hernando-Amado S., Coque T.M., Baquero F., Martínez J.L. Antibiotic resistance: moving from individual health norms to social norms in one health and global health. *Frontiers in Microbiology*. 2020. Vol. 11. P. 1914.

37. UNEP (2017). *Frontiers 2017 Emerging Issues of Environmental Concern*. United Nations Environment Programme, Nairobi. 84 p.

38. Gonzalez-Zorn B., Escudero J.A. Ecology of antimicrobial resistance: Humans, animals, food and environment. *Int. Microbiol.* 2012. Vol. 15. P. 101–109.

39. Davies J., Davies D. Origins and Evolution of Antibiotic Resistance. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 2010. Vol. 74. P. 417–433.

40. McGough S., MacFadden D.R., Hattab M.W., Molbak K., Santillana M. Rates of increase of antibiotic resistance and ambient temperature in Europe: a cross-national analysis of 28 countries between 2000 and 2016. *Euro surveillance*. 2020. Vol. 25(45). P. e1900414.

41. MacFadden D.R., McGough S.F., Fisman D., Santillana M., Brownstein J.S. Antibiotic resistance increases with local temperature. *Nature Clim Change*. 2018. Vol. 8. P. 510–514.

42. FAO (2015). *Status Report on Antimicrobial Resistance*. URL: <http://www.fao.org/3/a-mm736e.pdf>

## РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ

---

43. Gajdacs, M., Albericio F. Antibiotic resistance: from the bench to patients. *Antibiotics*. 2019. Vol. 8. P. 129.
44. Michael C.A., Dominey-Howes D., Labbate M. The antibiotic resistance crisis: causes, consequences, and management. *Front Public Health*. 2014. Vol. 2. P. 145.
45. Taylor L.H., Latham S.M., Woolhouse M.E. Risk factors for human disease emergence. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci*. 2001. Vol. 356(1411). P. 983-989.
46. Economou V., Gousia P. Agriculture and food animals as a source of antimicrobial-resistant bacteria. *Infection and Drug Resistance*. 2015. Vol. 8. P. 49-61.
47. Chang Q., Wang W., Regev-Yochay G., Lipsitch M., Hanage W.P. Antibiotics in agriculture and the risk to human health: How worried should we be? *Evol. Appl.* 2014. Vol. 8. P. 240-247.
48. Bartlett J.G., Gilbert D.N., Spellberg B. Seven ways to preserve the miracle of antibiotics. *Clin Infect Dis*. 2013. Vol. 56(10). P. 1445-1450.
49. Van Boeckel T.P., Brower C., Gilbert M., Grenfell B.T., Levin S.A., Robinson T.P., Teillant A., Laxminarayan R. Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2015. Vol. 112. P. 5649-5654.
50. Samtiya M., Matthews K.R., Dhewa T., Puniya A.K. Antimicrobial Resistance in the Food Chain: Trends, Mechanisms, Pathways, and Possible Regulation Strategies. *Foods*. 2022. Vol. 11. P. 2966.
51. Tate H., Ayers S., Nyirabahizi E., Li C., Borenstein S., Young S., Rice-Trujillo C., Saint Fleurant S., Bodeis-Jones S., Li X., Tobin-D'Angelo M., Volkova V., Hardy R., Mingle L., M'ikanatha N.M., Ruesch L., Whitehouse C.A., Tyson G.H., Strain E., McDermott P.F. Prevalence of Antimicrobial Resistance in Select Bacteria from Retail Seafood - United States, 2019. *Front Microbiol*. 2022. Vol. 13. P. e928509.
52. Watts J.E.M., Schreier H.J., Lanska L., Hale M.S. The Rising Tide of Antimicrobial Resistance in Aquaculture: Sources, Sinks and Solutions. *Mar. Drugs*. 2017. Vol. 15. P. 158.
53. Graham D.W., Bergeron G., Bourassa M.W., Dickson J., Gomes F., Howe A., Kahn L.H., Morley P.S., Scott H.M., Simjee S., Singer R.S., Smith T.C., Storrs C., Wittum T.E. Complexities in understanding antimicrobial resistance across domesticated

## РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ

---

animal, human, and environmental systems. *Ann N Y Acad Sci*. 2019. Vol. 1441(1). P. 17–30.

54. Larsson D.G.J., Flach C.F. Antibiotic resistance in the environment. *Nat Rev Microbiol*. 2022. Vol. 20. P. 257–269.

55. Burgmann H., Frigon D., Gaze W., Manaia C., Pruden A., Singer A.C., Smets B.F., Zhang T. Water and sanitation: an essential battlefield in the war on antimicrobial resistance. *FEMS Microbiology Ecology*. 2018. Vol. 94(9). P. fiy101.

56. Symochko, L., Mariychuk, R., Demyanyuk, O., & Symochko, V. (2019). Antibiotics in agroecosystems: soil microbiome and resistome. *Agroecological journal*, 4, 85–92.

57. Symochko L., Bugyna L., Hafiiyak O. Ecological aspects of biosecurity in modern agroecosystems. *International Journal of Ecosystems and Ecology Sciences*. 2021. Vol. 11(1). P. 181-186.

58. WHO (2022). WHO's Response to the Ukraine Crisis: interim report, February to June 2022. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2022. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. URL: [https://who.foundation/wp-content/uploads/2022/08/who\\_emergency\\_ukraine\\_response\\_report-july-2022\\_v3.pdf](https://who.foundation/wp-content/uploads/2022/08/who_emergency_ukraine_response_report-july-2022_v3.pdf)

59. Pereira P., Zhao W., Symochko L., Inacio M., Bogunovic I., Barcelo D. The Russian Ukrainian armed conflict will push back the sustainable development goals. *Geography and Sustainability*. 2022. Vol. 3(3). P. 277-287.

60. Stewart L., Li P., Blyth M.D.M., Campbell W.R., Petfield J.L., Krauss M., Greenberg L., Tribble D.R. Antibiotic Practice Patterns for Extremity Wound Infections among Blast-Injured Subjects. *Mil Med*. 2020. Vol. 185(1). P. 628-636.

61. Yaacoub S., Truppa C., Pedersen T.I. et al. (2022). Antibiotic resistance among bacteria isolated from war-wounded patients at the Weapon Traumatology Training Center of the International Committee of the Red Cross from 2016 to 2019: a secondary analysis of WHONET surveillance data. *BMC Infect Dis*, 22, 257.

62. Tribble D.R., Krauss M.R., Murray C.K. et al. Epidemiology of trauma-related infections among a combat casualty cohort after initial hospitalization: the Trauma Infectious Disease Outcomes Study. *Surg Infect (Larchmt)*. 2018. Vol. 19(5). P. 494-503.



## РОЗДІЛ 2. ЗАГОСТРЕННЯ ПРОБЛЕМИ АНТИБІОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ

---

63. Аналітична доповідь до щорічного Послання Президента України до Верховної Ради України «Про внутрішнє та зовнішнє становище України». Режим доступу: <https://niss.gov.ua/en/node/4778>

64. Відновлення медичної системи після наслідків війни коштуватиме щонайменше 14,6 млрд євро. Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/news/vidnovlennia-medychnoi-systemy-pislia-naslidkiv-viiny-koshtuvatyme-shchonaimenshe-146-mlrd-ievro>

65. Національний інститут стратегічних досліджень України (2022). Ресурси системи охорони здоров'я в умовах війни. Режим доступу: <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/resursy-systemy-okhorony-zdorovya-v-umovakh-viiny-zhovten-2022r>

66. WHO (2022). Principles to guide health system recovery and transformation in Ukraine. Consultation draft. May 2022. URL:

[https://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0005/538376/Ukraine-health-system-rec-consult-eng.pdf](https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/538376/Ukraine-health-system-rec-consult-eng.pdf)

67. Центр громадського здоров'я МОЗ України (2021). Боротьба з антимікробною резистентністю в Україні вийшла на новий рівень. Режим доступу: <https://phc.org.ua/news/borotba-z-antimikrobnoyu-rezistentnistyu-v-ukraini-viyshla-na-noviy-riven-zatverdzheno>

68. Іванько О.М., Луцька А.В., Івачевська Н.С. Оцінка знань щодо використання антибіотиків при підготовці військових лікарів. *Військова медицина України*. 2019. № 4. Т. 19. С. 106-110.

69. Міністерство охорони здоров'я України. Наказ МОЗ України № 1971 від 16 вересня 2021 року. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1371-21/Text>

70. Шматенко О.П., Хомуцька Н.І., Голуб А.Г. та ін. Проблеми розповсюдження фальсифікованих лікарських засобів та шляхи їх вирішення. *Військова медицина України*. 2018. Т. 18, № 3. С. 86-90.

71. WHO (2018). Report on the Health of Refugees and Migrants in the WHO European Region. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/report-on-the-health-of-refugees-and-migrants-in-the-who-european-region-no-public-health-without-refugee-and-migrant-health>

---

## РОЗДІЛ 3.

### ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

*Глуценко Л.А., Запталова А.В.*

**Ключові слова:** лікарська і ефіроолійна сировина, якість, безпечність, управління якістю при виробництві

Нині велика увага як державних органів, так і громадськості прикута до такого явища, як якість та безпечність, що стосуються всіх сфер життя і діяльності суспільства.

У повсякденному житті ми постійно дотичні до таких понять як «якість», «безпечність», «управління якістю» та тотожними чи близькими за змістом поняттями. Розуміння причинно-наслідкових зв'язків і складових цього явища набуває ваги, як при виробництві товарів та наданні послуг, так і за їх споживання, особливо у таких надзвичайно залежних від якості галузях, як харчова промисловість та фармація.

Якість поняття багатопланове і його розуміння може бути різним у залежності від того, надаємо ми послугу чи продукцію чи споживаємо її. Тому, важливим етапом досягнення високих показників якості у будь-якій сфері виробництва, є необхідність у з'ясуванні, хто і що розуміє під поняттям «якість», що і хто та якою мірою впливає на кінцевий продукт у процесі виробництва та реалізації і яких саме критеріїв і вимог при цьому дотримуються всі учасники цього складного процесу.

У галузі виробництва і споживання лікарської і ефіроолійної сировини підхід споживача продукції і послуг визначається переважно, як «придатність до використання» і ступенем прояву даної придатності. Високоякісними для споживача є продукція і послуги, які більшою мірою задовольняють запити їхнього виробництва і повною чи певною мірою відповідають його інтересам.

Щодо підходу виробника чи постачальника лікарської рослинної сировини, то поняття якість, для нього, у переважній більшості випадків, визначається, «як відповідність вимогам» того, хто цю продукцію замовляє, використовує у виробництві чи споживає. Безумовно, що вимоги до якості продукції у різних споживачів можуть відрізнятися і відрізняються навіть на один і той самий продукт. Технологія виробництва продукції,

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

в тому числі і лікарської рослинної сировини, полягає в тому, щоб наявний виробничий процес якомога повніше міг забезпечити відповідність отриманої продукції вимогам чи побажанням, які висувають до неї споживачі. За недосконалої організації виробництва продукції, виробники намагаються забезпечити виробництво продукції з якомога повнішим використанням власних ресурсів і з максимальним наближенням до «придатності до використання» споживачем, з подальшим пошуком споживача, якого така якість задовольняє.

Такий підхід у розумінні явищ, які супроводжують відношення споживач-виробник запропонував американський економіст, визнаний фахівець у галузі управління якістю Філіп Кросбі у своїй теорії «нульових дефектів», зазначивши, що саме «нуль дефектів» це бажана і досяжна мета [1].

На сучасному етапі розвитку фармацевтичної галузі, лікарські засоби рослинного походження займають суттєву частину, як на національному ринку, так і на провідних ринках світу. За оцінками експертів, близько 25 % лікарських засобів, що застосовують у медичній практиці в усьому світі, отримують безпосередньо з лікарської рослинної сировини [2–4]. Традиційно вважають, що фітозасоби мають низький рівень ризиків щодо безпеки та фізіологічно близькі людському організму. Споживачі фармацевтичної продукції на рослинній основі впевнені, що такі засоби мають суттєві переваги над лікарськими засобами синтетичного походження, бо є «природними», «екологічними», а від того і безпечними. Більшість фітопрепаратів та профілактичних продуктів виготовлених на основі рослинної сировини належать до групи безрецептурних і є більш доступними споживачам і часто застосовуються пацієнтами при самолікуванні чи за комплексної терапії. Проте деякі лікарські засоби рослинного походження містять високоактивні фізіологічні інгредієнти і можуть мати серйозні побічні реакції, а за неправильного прийому завдавати шкоди здоров'ю, а деякі можуть бути неефективними при лікуванні певних захворювань чи мають застосовуватися лише у комплексному лікуванні разом з ліками синтетичного чи напівсинтетичного походження. Тому, зважаючи на поради ВООЗ, фітопрепарати і інші продукти, які містять фізіологічно-активні інгредієнти рослинного походження, мають використовуватися за рекоме-

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

ндаціями і під наглядом фахових лікарів. Але і в цьому сенсі є ряд проблем, які потребують оприлюднення та розв'язання.

Зокрема, в широкодоступних інформаційних джерелах все частіше зустрічаються повідомлення, про значні ризики у застосуванні фітопрепаратів, які пов'язані з вихідною сировиною, яка внаслідок особливостей отримання може бути неправильно ідентифікована, контамінована мікроорганізмами, пестицидами, важкими металами чи іншими поллютантами. Так, у ряді досліджень проведених міжнародною командою дослідників, було виявлено, що близько 20% лікарських засобів рослинного походження, які виготовлені в Індії та Пакистані та поширюваних через мережу Інтернет у США, містили Pb, As та Hg у кількостях, що значно перевищували вимоги, зазначені у нормативних документах, зокрема у Фармакопеї США [2].

Факти забруднення важкими металами досить часто фіксуються у фітозасобах китайської традиційної медицини, яка набула популярності у країнах ЄС та США [5]. Наприклад, вміст Pb у зразках рослини *Radix Codonopsis* становив 83,1 мг/кг, а вміст As у *Radix Angelicae Sinensis* – 23,5 мг/кг, що значно перевищує допустимі межі, встановлені у провідних фармакопеях світу. Моніторинг накопичення елементів лікарською рослинною сировиною свідчить, що важкі метали можуть по-різному розподілятися між окремими частинами рослин і контроль їх умісту в одних органах не надає загального уявлення щодо забруднення рослинної сировини, якщо аналізується не конкретно сировинна частина лікарської рослини. Так, зразки сировини популярної у китайській медицині рослини *Prunella* містять Pb, Cd, Hg і As, проте листя серйозно забруднене Pb і Hg, а коріння містять більше Cd [2; 5].

Проведене вивчення елементного складу лікарської рослинної сировини *Potentilla erecta* у межах її сировинної зони з географічно віддалених територій України – українського Полісся та українських Карпат. Показало, що *Radix Potentilla erecta* є концентратором Ca, S, Mg природного походження. У кількості більше 100 мг/кг також ідентифіковано K, Sn, I, P, Ba та Al. Кількісні дані деяких металів відрізняються в аналізованих зразках різного походження. Основною причиною цього, ймовірно, є відмінності екологічних умов оселищ у місцях збору та природної варіативності складу, що також варто враховувати при організації та проведенні заготівельних робіт,

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

оцінки якості сировини дикорослих видів. Одержані експериментальні дані можуть бути використані при удосконаленні методик контролю якості та стандартизації на рослинну сировину цієї лікарської рослини [6].

Наведені приклади свідчать, що вимоги щодо якості лікарської рослинної сировини та удосконалення системи контролю мають важливе значення, а часто носить вирішальний характер для забезпечення якості і безпечності лікарських засобів рослинного походження і є фундаментальною вимогою, яка лежить в основі системи управління якістю продукції при виробництві лікарської рослинної сировини. Разом із тим, у своїх дослідженнях Філіп Кросбі визнавав, що досягнення бажаного результату – «нуль дефектів» шляхом підвищення рівня суворості контролю призводить до значного зростання собівартості продукції, тому наполягав на розвитку методів попередження появи дефектів у процесі її виробництва, а не посилення контролю на етапі приймання готової продукції [1].

Такою системою запровадження попереджувальних заходів щодо якості саме вихідної лікарської рослинної сировини є Настанова з належної практики культивування та збирання (GACP) вихідної сировини рослинного походження (Guideline on Good Agricultural and Collection Practice (GACP) for Starting Materials of Herbal Origin), яка скеровує виробника продукції на застосування попереджувальних заходів на всіх етапах виробництва фітофармацевтичної сировини [7]. Україна розробила свої настанови, удосконалила нормативно-аналітичні документи щодо якості вихідної сировини, в тому числі і національну частину Державної фармакопеї України, яка гармонізована з Європейською фармакопеєю. Проте не зважаючи на рекомендації міжнародних та національних настанов, у загальній системі виробник-споживач, якісні характеристики продукції чи надання послуг часто набувають невизначеності і часто неконкретизовані. Тому, Філіп Кросбі в системі управління якістю, запропонував чотири узагальнюючі постулати, які мають допомогти у вирішенні проблем пов'язаних з якістю продукції та послуг пов'язаних із задоволенням вимог споживачів:

1. «якість» означає відповідність вимогам, але вимоги мають бути точно визначені, кожен має знати, що від нього очікують;

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

2. «якість» є наслідком постійного попередження появи дефектів у процесі виробництва, попередження появи дефектів, це результат навчання персоналу, виробничої дисципліни, особистого прикладу та лідерства;

3. стандарти якості «нуль дефектів», не допускають помилок у всіх складових відношень споживач-виробник;

4. «якість» це міра ціни, ціна – міра невідповідності вимогам щодо якості.

Зважаючи на вищевикладене, якість це об'єктивно існуюча сукупність рис і характеристик продукції, яка визначає її як таку і вирізняє її від іншої. Нині визнаним є визначення якості, яке наведене в ДСТУ ISO 9000-2001: «Якість – сукупність характеристик об'єкта, що відносяться до здатності задовольняти встановлені і ймовірні потреби».

Якщо визнавати і застосовувати у виробництві будь-якої продукції, в тому числі і лікарської рослинної сировини, саме це поняття, варто пам'ятати, що згідно нього, одна і та ж сама продукція чи один і той самий предмет в один і той самий момент часу може бути і якісним, і неякісним у залежності від задоволення чиїхось конкретних потреб і вимог. Тому, зважаючи на стандартизоване визначення, «якість» є суб'єктивною оцінкою, яка пов'язана із задоволенням вимог замовників і ринків збуту, а не з сутністю характеристик «якості», як такої. Тобто сутність якості пов'язана з її рівнем, тобто якість це сукупність властивостей і характеристик продукції, рівень і варіанти яких формуються в процесі виробництва з метою задоволення обумовлених або передбачуваних потреб споживача [8; 9].

Будь-яке підприємство, яке планує бути конкурентоздатним орієнтується саме на споживача, його вимоги щодо характеристик продукції чи наданих послуг.

Споживачі ж продукції і послуг бувають, як зовнішні, так і внутрішні. Усередині підприємства існує безліч внутрішніх постачальників і споживачів, вони створюють так звані ланцюжки якості, які є базовими елементами для удосконалення якісних характеристик продукції впродовж всього виробничого процесу, який реалізує підприємство.

У межах виробничого процесу навіть невеликого підприємства, кожна виробнича ланка та кожен конкретний працівник виконує щось для когось. Ефективність організації зале-

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

жить від ефективної діяльності окремих ланок і взаємодії всього ланцюжку, в який об'єднані всі ланки загального виробничого процесу. Якщо всі взаємодії досягають вищого прояву злагодженості, відношення підприємства із зовнішнім споживачем виявляються найвищої якості.

Так, при збиранні лікарської рослинної сировини дикорослих видів, попередньо оцінюють екологічні умови зростання конкретного виду, фазу розвитку рослин донорів сировини. Оцінюється також тривалість і якість транспортування до місць первинної переробки свіжозібраної сировини з тим, щоб максимально забезпечити якість та безпечність та збереження якісних характеристик готової продукції.

Виробництво лікарської рослинної сировини у сільськогосподарському підприємстві починається з якості насіння чи садивного матеріалу, які або виробляються в цьому ж підприємстві – тобто забезпечує внутрішні потреби і є споживачем власної продукції, забезпечує зовнішні потреби реалізуючи вироблене насіння і садивний матеріал або ж закупаючи його у іншого виробника. Разом з тим, задовольняючи свої власні потреби у насінні і садивному матеріалі підприємство висуває власні вимоги щодо характеристик, орієнтуючись на кінцевий продукт – лікарську рослинну сировину. Тобто, орієнтуючись на вимоги потенційного споживача сировини, виробник сировини підбирає сортовий ресурс лікарських чи ефіроолійних рослин, який за своїми характеристиками максимально наближений до потреб і в подальшому виробляє чи здійснює закупівлю насіння і садивного матеріалу відповідних якісних характеристик. Теж саме стосується і ґрунтових умов господарства, задовольняють вони вимоги видів і сортів лікарських і ефіроолійних рослин, а також якості обробітку ґрунту, забезпеченості вологою, елементами живлення, тощо.

Відповідно із життєвим циклом продукції, вона має наступні етапи:

- планування;
- проектування;
- виготовлення;
- використання;
- утилізація;

Відповідно до етапів життєвого циклу продукції існують і декілька типів якості:

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

- якість проектування – означає, що для виробництва обирається продукція або послуга, яка призначена для задоволення потреб і вимог споживача, але цього кроку недостатньо, щоб виготовити і реалізувати дійсно якісну продукцію чи послугу;
- якість виготовлення – означає, що продукція або послуга в процесі виробництва відповідає вимогам, які встановлені на стадії планування або проектування;
- якість постачання – означає, що продукція або послуга надана споживачеві в узгоджений термін;
- відносна якість – опосередкована всіма учасниками процесу, хто мав контакти зі споживачем, як внутрішнім так і зовнішнім [9].

Лікарські засоби з рослин та рослинних компонентів, як популярна споживча продукція, широко застосовуються у медичній практиці та можуть використовуватись для лікування тих самих хвороб, що і синтетичні препарати. Але між цими категоріями лікарських засобів є суттєва різниця. До складу синтетичних препаратів входить активний фармацевтичний інгредієнт, якісні та кількісні характеристики якого чітко ідентифіковані та визначені. Разом з тим, фітопрепарати і фітозасоби завжди містять величезну кількість біологічно та хімічно активних сполук, а також мікроелементів, сумарна дія яких визначає терапевтичну активність готового продукту – фітопрепарату. Деякі чинники, які не мають суттєвого впливу на якість лікарських засобів синтетичного походження, суттєво впливають на якість та ефективність лікарських засобів рослинного походження [10; 11].

Цінність кожного окремого виду лікарської рослини сировини залежить:

- від умісту і характеру діючих речовин та їх поєднання;
- наявності та кількості супутніх і баластових речовин;
- тривалості збереження показників якості;
- умов їх вилучення для виготовлених лікарських субстанцій та фітозасобів.

Часто рослинні лікарські засоби мають дуже складне поєднання біологічно активних речовин, при цьому спостерігається синергічна біологічна активність. Практикою доведена залежність між вмістом біологічно активних речовин у лікар-



### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

ському засобі та терапевтичною активністю засобу. Так, терапевтична дія сиропу Алтейка забезпечують біологічно активні речовини *Radix Althea officinalis*, а саме поліцукри. У кількості 1,35 мг/мл лікарського засобу вони виявляють бронхосекреторну та відхаркувальну дію, тоді як зміна концентрації послаблює або взагалі нівелює терапевтичний ефект.

Забезпечення якості, безпечності та ефективності фітозасобів за певними параметрами є більш складним, ніж синтетичних препаратів, перш за все з причин природної варіативності складу лікарської рослинної сировини, тому Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) впродовж тривалого періоду аналізує ситуацію у різних країнах та розробляє документи у сфері забезпечення якості лікарських засобів рослинного походження, лікарської рослинної сировини та питань контролю і управління процесами формування якості лікарської рослинної сировини та ліків на її основі.

У фармацевтичному виробництві, як і в харчовій промисловості жорсткий контроль якості і безпечності вихідної сировини, яка надходить на виробництво обумовлений рядом причин, і в першу чергу за дія якості і безпечності кінцевого продукту – ліків чи харчів. Підвищення рівня контролю і удосконалення методів контролю в даній сфері діяльності відбувалося поступово і мало певні етапи. Так, з пошвавлення міжнародної торгівлі наприкінці ХІХ ст. – та на початку ХХ ст., сприяло збільшенню обсягів продажу товарів, у тому числі і лікарської рослинної сировини для виготовлення ліків та оздоровчих засобів. Все частіше на ринку країн Європи та Північної Америки стали реалізуватися сировина і готові лікарські форми на основі рослинної сировини субтропічного і тропічного походження. Водночас, у нормативних документах, фармакопях європейських країн і США стали наводитися дедалі довші переліки видів лікарської рослинної сировини та видів рослин іноземного походження: з Китаю, Індії, країн Африки, Південної і Центральної Америки, Австралії тощо. Перед спеціалістами – фармацевтами, ботаніками, фармакогностами ставилися все нові і нові завдання із розроблення методів ідентифікації та аналізування великої кількості видів рослинної сировини, підходів до виявлення домішок і фальсифікацій, тоді як іноземні рослини часто навіть не були описані за місцем зростання і не мали відповідних характеристик. Своєю чергою

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

вивчення сировини і рослин місцевої флори – Європи та Північної Америки відходило на другий план чи відкладалося на потім. Удосконалення методів ідентифікації та контролю якості і безпечності лікарської рослинної сировини тропічного і субтропічного походження на теренах Європи та Північної Америки, сприяло як розширенню асортименту вихідної рослинної сировини, яка реалізувалася на світових ринках, так і покращенню її якісних характеристик у процесі виробництва у країнах, які не мали відповідних можливостей, а від так, це сприяло і якості готових лікувальних і профілактичних засобів, які виготовлялися та реалізувалися у розвинених країнах. Не зважаючи на значні успіхи у сфері ідентифікації і оцінки якості рослинної сировини, що призначена для виготовлення лікувальних і профілактичних засобів, існує ціла низка проблем як національних, так і міжнародних, які ще потребують міжнародних зусиль щодо їх вирішення [3–5].

На національних рівнях існують два принципово різних підходи щодо забезпечення якості лікарських засобів рослинного походження. У багатьох країнах фітозасоби, що використовуються для діагностики, лікування або профілактики, розглядають як лікарські засоби, а усі етапи їх виробництва і обігу регулюються законодавством у фармацевтичній сфері. Типовим прикладом є практика країн Європейського союзу (ЄС), де починаючи з 1995 р. за наукову оцінку та моніторинг безпеки та ефективності лікарських засобів відповідає Європейське агентство з лікарських засобів (ЕМА). Більшість нових лікарських засобів регулюється через ЕМА. Проте значна кількість препаратів, які уже знаходяться в обігу, регулюються на національних рівнях.

Прикладом принципово іншого підходу є практика Сполучених штатів Америки (США), де обіг лікарських засобів рослинного походження регулюється відповідно до Акту від 1994 р., щодо добавок здорового раціону людини. Регулювання здійснює Адміністрація продуктів та ліків США (USFDA). У рамках цього органу діють Центр дослідження та оцінки ліків (CDER) та Центр оцінки та дослідження біопрепаратів (CBER). Перед тим, як будь-який новий синтетичний або рослинний препарат буде схвалений USFDA, необхідно провести ґрунтовні дослідження стосовно того, що лікарський засіб є одночасно якісним, безпечним і ефективним у застосуванні [12; 13].

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

Як результат, лікарські засоби рослинного походження частіше отримують статус харчових добавок, що не вимагає проведення ретельних доклінічних досліджень та клінічних випробувань за заздалегідь затвердженими протоколами. Тому, фактично всі фітозасоби можуть реалізовуватись у США як харчові або біологічно-активні добавки за умови, що активні фізіологічні інгредієнти препарату внесено до відповідної монографії Фармакопеї США. Упаковки з біологічно- (фізіологічно-) активними харчовими добавками не можуть містити надписи з рекомендаціями щодо їх медичного застосування, а також з попередженнями щодо потенційних ризиків.

USFDA застосовує регулювання обігу рослинних препаратів у випадках, коли існують значні ризики щодо безпеки, або коли вони мають (отримують) вагомні покази ефективності медичного застосування. Таким чином, на відміну від лікарських засобів, які повинні пройти усі фази клінічних випробувань для того, щоб довести свою безпечність та ефективність, більшість рослин у нативній (натуральній) формі та препаратів із них продають фактично без доказових досліджень.

Класифікація продуктів, що містять лікарську рослинну сировину, є компетенцією уповноважених органів окремих держав. Це призводить до ситуації, коли препарат, що містить однакові біологічно-активні компоненти в однаковому дозуванні, в деяких країнах світу вважають харчовою добавкою до раціону здорового харчування людини, а в інших лікарським засобом. Такий порядок речей часто спричиняє непорозуміння щодо якості, безпечності і ефективності продукції виготовленої на основі фітофармацевтичної сировини, ускладнює імпортно-експортну взаємодію держав і державних органів, тощо.

Тобто, класифікацію готового продукту на основі лікарської рослинної сировини визначає спосіб представлення його на споживчому ринку як такого, що має властивості для лікування або профілактики захворювання у людей і тварин або коли продукт може бути використаним з метою відновлення і корегування певної фізіологічної функції людини шляхом реалізації фармакологічної, імунологічної чи метаболічної дії. Ті ж самі рослини і їх частини можуть використовуватися в обох якостях залежно від дозування, форми, тощо.

Наприклад, у Нідерландах листя *Ginkgo biloba*, корені *Valeriana officinalis* та трава *Hypericum perforatum* продаються і

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

як харчові добавки до раціону здорового харчування, і як лікарські і профілактичні засоби. Різниця між харчовою добавкою і лікарським засобом є дуже великою з практичної точки зору виробника і реалізатора продукції, оскільки у категорії – ліки більш жорстко регулюється якісні характеристики, ніж у категорії – харчові добавки.

Для того, щоб в таких умовах відрізнити ліки від інших продуктів у різних країнах використовують свої власні підходи. Наприклад, у деяких беруть до уваги вміст фізіологічно-активних (біологічно-активних) речовин (інгредієнтів), як це рекомендовано рядом наукових досліджень [13].

Якщо показник кількісного вмісту фізіологічно-активних речовин буде вищим рекомендованої добової дози, тоді продукт має бути класифікований як ліки і віднесений до категорії «лікарського засобу», якщо на рівні рекомендованої дози або ж нижче – то до категорії – «харчова добавка» або «натуральні продукти для здоров'я» (NHP), які також можуть мати певні відмінності.

Після визначення статусу засобу на основі лікарської рослинної сировини, відповідними службами мають бути встановлені підходи стандартизації та управління процесом виробництва лікарської сировини рослинного походження придатної для виготовлення якісного споживчого продукту чи то ліків, чи то харчової добавки до раціону здорового харчування.

Глобалізація, розширення міжнародних зв'язків, в тому числі торгівлі продукцією, яка містить фізіологічно активні інгредієнти обумовило зростаючу необхідність розроблення глобальних стандартів якості і безпечності, особливо у сфері виробництва, реалізації та використання лікарських засобів.

Ще у 1964 р. було розроблено Конвенцію зі створення Європейської фармакопеї, на основі якої в Європі стали впроваджуватися єдині стандарти якості і безпечності лікувальних засобів. Україна приєдналася до Конвенції в 2012 р., а з березня 2013 р. стала 38 членом Європейської фармакопеї. Ратифікуючи Конвенцію українська влада підтвердила прагнення розвивати європейські стандарти якості медикаментів та зміцнювати співпрацю з європейськими країнами в галузі фармацевтики і в тому числі розробленням стандартів на сировину лікарських рослин, яка використовується як вихідна у фармацевтичному виробництві.

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

Як видно з наведеного вище, світові підходи до стандартизації лікарської рослинної сировини нині неоднозначні, проте численні дослідження визначають найважливішим чинником, що забезпечує фактичну якість готових лікарських засобів рослинного походження, саме якість вихідної лікарської рослинної сировини [12-14]. Відповідно до міжнародних принципів процес стандартизації рослинної сировини для виготовлення лікарських засобів має спиратися на результати наукових досліджень, стосується трьох основних фармакопейних дефініцій [15–17] та має відповідати на три основні питання щодо:

- ідентичності (справжності) – чи є рослина тією, якою вона повинна бути?
- чистоти – чи наявні в ній забруднення (ботанічні, мікробіологічні, хімічні чи інші)?
- кількісного вмісту забруднень – чи не перевищують вони (забруднюючі речовини) визначені ліміти (допустимі рівні)?

Для доведення ідентичності та чистоти рослин існує ряд підходів, заснованих на вивченні біологічних, хімічних та фізичних характеристик.

Ідентичність встановлюють переважно шляхом макро- та мікроскопічного вивчення, хоча такі явища, як гібридизація, поліплоїдія, хвороби та шкідники рослин, особливості живлення рослин інколи суттєво ускладнюють проведення ідентифікації [17]. Розширення сировинної бази за рахунок нових видів рослин із лікувальними властивостями, скорочення запасів офіційальних видів рослин у природних місцезростаннях, сприяє зростанню домішок близько родинних видів та змушує зосереджувати увагу фахівців на розробленні нових підходів до ідентифікації сировини лікарських рослин на первинній ланці виробництва та збирання вихідної фітофармацевтичної сировини, забезпечити виробництво зручними для використання на практиці засобами ідентифікації.

Для реалізації Директиви 75/318/ЕЕС та Закону України «Про лікарські засоби» (у редакції від 08.08.2021) та державної політики у сфері контролю якості та безпеки лікарських засобів важлива наявність точної і детальної характеристики вихідної сировини, особливо тієї, яка надходить до фармацевтичного виробництва. Створення нормативних документів на лі-

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

карську рослинну сировину ґрунтується на багаторічному досвіді дослідження певного виду рослини ботаніками, фармакогностами, фітохіміками, технологами та іншими висококваліфікованими фахівцями.

Встановлення діагностичних ознак сировини видів лікарських рослин є важливою умовою введення їх в офіційну медицину, включення у фармакопеї будь-якої країни. Фармакопейні монографії містять розділ ідентифікації сировини з характеристикою мікро- та макроскопічних ознак сировини конкретного виду рослин, однак детальна характеристика більшості споріднених видів, які бувають домішкою до сировини, здебільшого не наводиться. Слід зазначити, що більшість видів офіційної медицини України мають поширення лише в певних регіонах, а в інших поширені споріднені види. Тому на переробні підприємства може потрапляти сировина різних споріднених нефармакопейних видів і без наявності детальної характеристики їх сировини (з відповідними ілюстраціями мікро- та макроскопічних ознак) складно здійснити ідентифікацію та визначити якість лікарської рослинної сировини. Окрім того, нині розроблені монографії на сировину лише окремих видів таких родів як *Hypericum*, *Achillea*, *Bidens*, *Crataegus*, *Equisetum*, *Plantago*, *Thymus* та інших, хоча ці роди представлені в Україні значною кількістю видів і деякі представники родів використовуються поряд з офіціальними видами, або ж їх сировина може бути важковідокремлюваною домішкою. Ступінь дослідження у якості лікарських рослин видів цих родів суттєво відрізняється, часто є фрагментарним із деталізацією окремих характеристик. Очевидно це пов'язане з потребою і наукоємністю таких досліджень та наявністю відповідних фахівців, оскільки для впровадження в практику використання сировини певного виду рослин важливими є морфолого-анатомічні, біохімічні, фармако-терапевтичні та ресурсні його характеристики.

Найкраще досліджені морфологічні та анатомічні особливості вегетативних та генеративних органів видів офіційної медицини *Achillea millefolium*, *Bidens tripartita*, *Equisetum arvense*, *Hypericum perforatum*, *Thymus serpyllum* та інших, тоді як споріднені види з відповідних родів, які часто збирають під виглядом фармакопейних або разом із фармакопейними, не досліджені або досліджені фрагментарно. Часто відсутня ілюс-

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

тративна інформація про їх морфолого-анатомічні особливості за якими можна відрізнити сировину. В зв'язку з цим постало питання комплексного аналізу сировини споріднених видів основних дикорослих лікарських рослин України для забезпечення достовірної ідентифікації лікарської рослинної сировини. Важливою є і робота з надання науково-методичного супроводу з ідентифікації культивованих видів лікарських рослин та їх сортів, що мають анатомічні відмінності від дикорослих, а також видів іноземного походження [18].

Ідентифікація важлива для встановлення справжності сировини та її якості, проте при збиранні лікарської рослинної сировини варто враховувати особливості біорізноманіття рослин, які використовуються з лікувальною метою. Так рід *Plantago* нараховує близько 250 видів, з яких 15 зростають в Україні, *Crataegus* – орієнтовно 280 видів, з яких в Україні 30 аборигенних та 75 інтродукованих переважно з Північної Америки та Південної Європи, *Achillea* – 100 та 11 та *Thymus* – 400 та 16 відповідно [19]. Причому видовий статус певних видів досі є дискусійним питанням не лише в колі практиків, а й серед науковців. Тому, удосконалення методів ідентифікації на первинних ланках виробництва лікарської рослинної сировини є важливим завданням, особливо для близькородинних видів багатовидових родів.

Чистота сировини є важливою складовою заходів забезпечення її якості та безпечності, і також тісно пов'язана з питанням якості виготовлених з неї лікарських і профілактичних засобів. Для визначення чистоти використовують такі характеристики, як наявність сторонніх включень органічного та неорганічного походження, органічних речовин, вміст золи та вологи, наявність мікробіологічного забруднення та афлотоксинів, залишки пестицидів, вміст важких металів, радіоактивне забруднення та інше. Для контролю використовують сучасні методи аналізу – хроматографічні, атомно-абсорбційної та атомноemisійної спектрометрії, мас-спектрометричні та інші, які забезпечують якісний контроль [20; 21].

Важливим показником відповідності вимогам споживачів і нормативним показникам якості є вміст біологічно- (фізіологічно-) активних речовин (інгредієнтів), який є обов'язковим і часто чи не єдиним для контролю якості. Проте, у різних країнах світу, до контролю підходять по-різному.

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

Представники одного роду – *Thymus serpyllum* та *Thymus vulgaris* входять до ЄФ та більшості фармакопей світу: Австрії, Аргентини, Британії, Чехії, Франції, Німеччини, Угорщини, Нідерландів, Норвегії, Польщі, Румунії, України та інших держав. Згідно вимог Європейської і Британської фармакопей вміст ефірної олії в сировині *Thymus vulgaris* має бути не меншим за 1,2%, а сума карвакролу і тимолу в ній не меншою 40% від загального вмісту ефірної олії, сума фенолів має бути на рівні 0,5% (у перерахунку на тимол).

Згідно з вимог XI Державної фармакопей СРСР (по вимогам деяких статей якої працюють і нині фармацевтичні підприємства у Білорусі і Росії), вміст у сировині *Thymus serpyllum* екстрактивних речовин, що вилучаються 30% спиртом повинен бути не меншим 18%. До Фармакопей Німеччини і Британії поряд з *Thymus vulgaris* включена сировина *Thymus zygis*, який має морфологічні і фітохімічні відмінності. Сировину широко поширеного в Україні лісостепового виду *Thymus Marschallianus* часто застосовують поряд із сировиною офіційного виду *Thymus serpyllum* – поширеного бореального виду [19; 20; 22].

Іноді до партій сировини, які надходять на фармацевтичне виробництво за назвою *Thymi herba*, поряд із травою *Thymus serpyllum* потрапляє і інший близькородинний бореальний вид *Thymus pulegioides*, який хоч і має ряд морфологічних і біоекологічних відмінностей, важко ідентифікується заготівельниками. Він має відносно високі показники вмісту ефірної олії (вміст ефірної олії близько 5,6 мл/кг від маси повітряносухої сировини, за нормативних вимог національної частини ДФУ для сировини *Thymus serpyllum* цей показник становить лише 1,5 мл/кг), проте ні тимол, ні карвакрол до складу ефірної олії цього виду не входять, домінуючими компонентами ефірної олії *Thymus pulegioides* є нераль та гераніаль. Тому домішка *Thymus pulegioides* значною мірою погіршує якість зібраної сировини та ускладнює виробництво ліків з неї, якщо на якість готової продукції впливає саме компонентний склад ефірної олії у вихідній сировині [20; 23].

Часто, для оцінки придатності лікарської рослинної сировини для подальшого виробництва ліків чи харчових добавок, визначають орієнтовну кількість біологічно-активних речовин, встановлюючи межі, здебільшого нижні межі, вмісту важливих



### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

для виробництва речовин. Іноді для оцінки кількісних показників якості вихідної сировини використовують показник вмісту суми екстрактивних речовин, тобто речовин, які можуть бути екстраговані за допомогою розчинників із даної кількості лікарської рослинної сировини. Як розчинники використовують переважно дистильовану воду або етиловий спирт різних концентрацій. Такий аналіз використовується для рослинної сировини, для якої не існує нормативних чи рекомендованих методик хімічного або біологічного аналізу або такий підхід задовольняє споживачів. Зокрема Британська трав'яна фармакопея орієнтує на застосування саме такої оцінки якості вихідної лікарської рослинної сировини [19].

Існує проблема із забезпечення контролю вмісту біологічно-активних речовин у вихідній лікарській рослинній сировині, яка пов'язана з рядом об'єктивних і суб'єктивних причин.

Складний та не завжди вивчений хімічний та біохімічний склад рослин є викликом для розроблення нових аналітичних методів діагностики, специфікацій та контролю якості вихідної рослинної сировини, що часто містить більш ніж один фізіологічно активний інгредієнт та утруднює як контроль якості та безпечності, так і процес управління якістю при виробництві лікарської рослинної сировини. Наприклад, відома ще з часів медичних трактатів Тибету лікарська рослина *Scutellaria baicalensis*, яка введена в Україні в промислову культуру та покращена методами селекції, містить понад 2000 сполук, що мають різну фізіологічну активність та хімічну природу [24].

Проблеми розроблення методичних підходів до визначення вмісту біологічно-активних речовин постійно удосконалюється, так як однією з визначальних реакцій рослинного організму на умови росту і розвитку є мінливість – здатність за впливу різних чинників набувати нових хімічних ознак або втрачати попередні.

Кількісний і якісний склад біологічно-активних речовин у сировині залежить від цілої низки біотичних і абіотичних чинників, найбільш впливовими серед яких є:

- умови, у яких розвивалися рослини-донори сировини;
- фази розвитку і вік рослин донорів сировини;
- терміни, умови та способи збирання сировини;
- первинна обробка та висушування;

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

– умови зберігання, ступінь подрібнення і транспортування, тощо.

Тому, серед завдань, які стоять перед дослідниками є удосконалення і здешевлення методів контролю та пошук уніфікованих методів визначення біологічно-активних речовин, особливо цінними є розробки різноманітних експрес-методів, тестових систем, спрощених методик за для забезпечення потреб виробників лікарської рослинної сировини в контролі якості продукції.

Серед сучасних методів, найбільш перспективним підходом у вирішенні проблеми комплексної ідентифікації сировини, нині вважають створення на основі комбінації хроматографічних та спектроскопічних даних своєрідних «відбитків» або «хімічного профілю» рослин одночасно із визначенням хімічних або генетичних маркерів, які в сукупності забезпечать однозначну ідентифікацію рослини чи сировини з неї. Ці напрями називають хімічна та біологічна «дактилоскопія» [14; 20]. Згідно з настановами ЕМА хімічні маркери – це хімічно визначені складові або групи складових рослин, які важливі для здійснення ідентифікації сировини та контролю якості незалежно від того, чи проявляють ці речовини терапевтичний ефект чи ні. Відповідно хімічні маркери поділяють на аналітичні (без медичного ефекту) та активні (саме біологічно-активні (фізіологічно активні) речовини). Як маркери можуть бути використані навіть токсичні компоненти та деякі вторинні метаболіти рослин, які притаманні саме цьому біологічному виду та мають доступні методи визначення їх вмісту.

Аналіз, що базується на хімічних маркерах, має і свої обмеження. Маркери визначені для дуже обмеженої кількості видів лікарських рослин, а кількість рослин, що використовуються фармацевтикою постійно зростає та невпинно змінюється, тому цей метод хоч і належить до точних, використовується не так часто, як того потребує практика.

Оскільки генетичний склад є унікальним для кожного виду і не залежить а ні від віку, а ні від фізіологічних особливостей чи умов навколишнього середовища, маркери, засновані на ДНК-тестах, також використовуються для ідентифікації рослин та їх частин, а також для виявлення рослинних домішок, ідентифікації внутрішньовидових та міжвидових змін, тощо.

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

Проте нині такі способи ідентифікації не можуть визначатися, як загальнодоступні і входять до категорії рекомендованих.

Таким чином, більш досконалі і складні у застосуванні методи дослідження мають бути залучені для повної стандартизації лікарської рослинної сировини та покладені в основу розроблення системи управління якістю рослинної сировини, що використовується для медичних цілей, особливо для лікарської рослинної сировини з високими показниками фізіологічної активності. За умов мінливості рослин, що є доведеним фактом, важливим є процес визначення набору стандартів, власних характеристик та постійних кількісних або якісних параметрів, які разом гарантують якість, ефективність, безпеку та відтворюваність властивостей лікарської рослинної сировини.

Сучасні вимоги до якості, передбачають пріоритет застосування товарознавчого підходу до вивчення лікарської рослинної сировини, який заснований на встановленні ідентичності (справжності), чистоти і доброякісності та безпечності сировини як іноземного, так і вітчизняного походження і включають в себе оцінку сировини органолептичними, біологічними та хімічними методами. За для об'єктивності оцінки пропонують до використання уніфіковані методи, які є загальнодоступними [12; 13; 15; 20].

Якість лікарської рослинної сировини – необхідна умова її придатності до подальшого використання у фармацевтичній і харчовій промисловості. Показники, що гарантують відповідність сировини і її якість регламентуються спеціальними нормативно-технічними документами (НТД) різного рівня, Державною фармакопеею України (ДФУ), яка гармонізована з Європейською фармакопеею (ЄФ), окремими, в тому числі і тимчасовими, фармакопейними статтями, галузевими стандартами (ДСТУ), тощо. У нормативно-технічній документації зазначаються не лише показники, які визначають якість, а й методи аналізування із встановлення відповідності сировини нормативним вимогам [7; 8; 11; 16; 17; 20; 25; 26].

ДФУ була введена в дію у 2001 р. в основу якої були покладені поточні видання ЄФ. Це збірник обов'язкових загальнодержавних стандартів і положень, які нормують якість лікарської сировини. Це законодавчий документ, його вимоги, є обов'язковими для всіх підприємств і установ країни, які тією

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

чи іншою мірою пов'язані з виготовленням, транспортуванням, зберіганням і застосуванням лікарських засобів [20].

У ДФУ містяться загальні статті на всі морфологічні групи лікарської рослинної сировини, окремі фармакопейні статті на сировину тощо. У кожній статті про лікарську рослинну сировину матеріал викладається у певній послідовності, спільній для всіх видів і містить такі розділи, як: назва сировини (латинською і українською мовами, назва виду (-ів) рослин донора сировини двома мовами), зовнішні ознаки сировини, мікроскопія, числові показники (вміст вологи, золи, органічних і мінеральних домішок, діючих речовин), а також методики їх визначення.

Всі засоби, в тому числі і лікарська рослинна сировина, які включені до фармакопеї, основної чи національної частини визнаються лікарськими і називаються офіційними (*officina* – аптека), ті ж, які не включені до переліку цього нормативного документу, вважають неофіційними і їх якість регламентується іншими (тимчасовими, галузевими, стандартами підприємств) нормативними документами.

Спираючись на методичні підходи нормативних документів визначають якісні характеристики лікарської рослинної сировини шляхом сукупному аналізу та встановлюється відповідність чи невідповідність вимогам нормативно технічній документації (НТД). Система забезпечення якості лікарських засобів рослинного походження, прийнята і в Україні, проте на даний час немає офіційних загально визнаних суворих підходів до створення системи забезпечення якості, що охоплює усі складові, які впливають (чи можуть мати вплив) на якість, ефективність та безпеку лікарських засобів рослинного походження від збирання та вирощування лікарської рослинної сировини, розроблення лікарських засобів до їх виробництва, контролю якості, зберігання та використання готової продукції на всіх етапах.

Ті виробники фітозасобів, які застосовують на виробництві власні підходи щодо забезпечення якості, у більшості випадків використовують свій досвід, дані наукових досліджень та документи, що мають рекомендаційний характер. Такий висновок підкріплює аналіз даних щодо переліку лікарської рослинної сировини наведених у ДФУ та переліку лікарських засобів рослинного походження, що наведені у Державному ре-

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

естрі лікарських засобів України [20; 21]. Орієнтовно лише чверть виробників фітозасобів наводять у реєстраційних документах дані стосовно вмісту біологічно активних речовин, більшість обмежується назвою рослини (частіше назвою рослинної сировини), яка або компоненти якої входять до складу засобу. Іноді наводяться назви рослин, за транскрипціями їх народних назв, особливо для рослин іноземного походження, наводяться родові назви рослин тощо. Відомості щодо вмісту біологічно-активних речовин і їх кількості, можливих домішок та інших складових відсутні у відкритих реєстраційних даних. Аналіз чинних нормативних документів дозволяє проілюструвати взаємозв'язок між елементами системи забезпечення якості фітозасобів та етапами їх виробництва.

То ж, на думку фахівців, найбільш важливими проблемами регулювання обігу лікарських засобів рослинного походження, які необхідні для упорядкування ряду питань щодо якості і безпечності лікарської рослинної сировини та продукції на її основі є:

- створення єдиної державної класифікації продуктів (як ліків так і фізіологічно активних добавок до раціону здорового харчування людини, тощо), що містять лікарську рослинну сировину;
- стандартизація лікарської рослинної сировини та розроблення нових, доступних і ефективних методів дослідження вихідної рослинної сировини;
- розроблення і удосконалення заходів щодо забезпечення вмісту у ній біологічно активних речовин визначеної концентрації;
- узгодження підходів до створення системи забезпечення якості готових лікарських засобів рослинного походження, що мають охоплювати усі чинники, які впливають на їх якість, ефективність та безпечність [12-14; 16].

Стандартизація продукції на всіх етапах виробництва та постійне удосконалення процесу управління якістю при виробництві сировини спрямовані на те, щоб гарантувати незмінний склад нормованих компонентів лікарської рослинної сировини та забезпечити відтворюваність складу готового споживчого продукту – ліків, продуктів, біологічно-активних добавок до раціону здорового харчування тощо[5; 10; 11; 20]. Процес контролю якості і стандартизація лікарської рослинної

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

сировини це динамічний процес, який залежить від багатьох чинників і насамперед від рівня розвитку науки і техніки.

Науково-технічний прогрес – це основа інтенсифікації виробництва. Тому, удосконалення всіх ланок виробничого процесу незмінно призводить до удосконалення системи управління виробництвом разом із системою контролю, як за виготовлення готового лікарського препарату на рослинній основі, так і сировини з якої власне його виготовляють. Ефективність і безпечність фітопрепаратів визначається вже на етапі розроблення, випробування та організації їхнього виробництва. Якість і безпечність впровадженого у виробництво фітопрепарату складається як з організації фармацевтичного виробництва, так і організації виробництва лікарської рослинної сировини, яка часто має вирішальний характер для забезпечення якості і безпечності лікарських засобів рослинного походження.

За даними ВООЗ відчутно більша частка лікувальних і профілактичних препаратів виготовляється з сировини дикорослих лікарських видів, а якість лікарської рослинної сировини зібраної в природних умовах залежить від багатьох чинників [2–4]. Для процесу збирання дикорослих видів лікарських рослин, визначальними є дотримання:

- правил ідентифікації рослин/сировини;
- рекомендованих термінів/умов збирання;
- техніки збирання та транспортування;
- режимів висушування, правил доробки та зберігання.

Стабільність отримання сировини високої якості залежить у першу чергу від сили впливу процесів пов'язаних з вилученням сировини на стан популяцій лікарських рослин. Заготівля сировини складається з ряду послідовних операцій, які взаємопов'язані у загальний процес:

- визначення поширення рослини-донора та встановлення обсягів біологічного запасу лікарської рослинної сировини;
- оцінка щорічного обсягу заготівлі сировини та економічної доцільності проведення заготівель;
- збирання сировини;
- транспортне пакування та транспортування;
- первинна доробка (за потребою);

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

- висушування сировини;
- доведення сировини до стандартизованого стану (очищення, подрібнення, тощо);
- пакування, маркування, транспортування готової сировини;
- зберігання, тощо.

Певні складнощі у отриманні сировини високої якості виникають уже на етапі планування заготівельного процесу.

На приклад, до складу ефірної олії *Ledum palustre* входить понад 200 компонентів, що належать до різних класів хімічних сполук. Домінуючими з яких є ледол, палюстрол, мірцен, борніол-ацетат та інші. Для оцінки якості рослинної сировини, важливим показником є не лише загальний вміст ефірної олії, а і співвідношення певних його компонентів, зокрема вміст ледолу, який має доведену терапевтичну активність та використовується у ряді протикашлевих препаратів, зокрема препарату Ледин (*Ledinum*), що являє собою сесквитерпеновий спирт, виділений з ефірної олії, яка міститься в пагонах рослин *Ledum palustre*. Вміст ледолу у ефірній олії залежить від умов зростання рослин-донорів сировини, і в умовах наближених до аутоекологічного оптимуму сосняк чорнице-багново-зеленомошний при зволоженні ґрунту (76) та багатстві і засоленості 3,5 може досягати 39,3%. Уміст ледолу залежить не лише від умов зростання, він динамічний і змінюється в процесі вегетації рослин досягаючи максимуму у серпні-вересні, що співпадає з фазою розвитку – початок досягання плодів, тоді як максимальний вихід ефірної олії в сировині пов'язаний з фазою масового цвітіння. Отримані експериментальні дані свідчать, що у *Ledum palustre* ресурсні і фітохімічні максимуми не співпадають, що необхідно враховувати при проведенні заготівель та їх плануванні. Тобто, у плануванні і проведенні заготівель необхідно орієнтуватися на розміщення ценопопуляцій донорів, а також на запит споживача. Якщо для споживача сировини важливим показником якості є загальний вміст ефірної олії в сировині – збір сировини *Ledum palustre* необхідно проводити в фазу масового цвітіння, якщо ж важливішим компонентом є вміст саме ледину – збирання варто відтермінувати до фази початку досягання плодів [27].

Заготівля сировини дикорослих лікарських рослин – це система організаційних, технологічних, економічних і екологічних заходів, які забезпечують отримання високоякісної і без-

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

печної лікарської рослинної сировини, що відповідає вимогам споживачів і чинних нормативних документів.

Розроблення технологічних регламентів та обґрунтування технологічних процесів отримання якісної сировини важлива складова належних практик заготівлі, а також вирощування лікарських рослин. Не менш важливою складовою у досягненні високих якісних характеристик фітофармацевтичної сировини є обізнаність персоналу, який здійснює зазначені процеси при вирощуванні та заготівлі сировини. До проведення заготівельних робіт необхідно надавати дозвіл персоналу, який пройшов спеціальну підготовку та має навички практичної роботи, зокрема з ідентифікації рослин та сировинної її частини, термінів збирання, тощо. При організації робіт, до їх початку, варто також переконатися у хорошій фізичній підготовці персоналу, зокрема працівників-заготівельників, а також мати інформацію про відсутність у них інфекційних захворювань та алергічних реакцій на ту чи іншу рослину. Всі ці заходи забезпечують, як якість та безпечність готової продукції, так і ефективність проведення процесу збирання.

У випадку збирання отруйних, сильнодіючих, ароматних рослин необхідно провести додаткові інструктажі та попередити про необхідність дотримання техніки безпеки і правил надання першої допомоги при виявленні ознак отруєння, тощо. Зважаючи на те, що збирання лікарської рослинної сировини є технічно не складним процесом, який можна поєднувати з відпочинком, спілкуванням з природою, то до нього можуть долучатися діти, підлітки та люди поважного віку.

Не зважаючи на видиму простоту і доступність, збирання лікарської рослинної сировини в природних умовах потребує не лише відповідної фізичної і технічної підготовки, а й значного обсягу знань та навичок, а саме, з ідентифікації рослин та їх сировинних частин за різних фаз розвитку рослин, із впливу способів і часу проведення заготівель на якість зібраної сировини та стан заростей рослин, особливостей їх відновлення після вилучення сировинної маси, тощо. Тобто, особа, яка долучається до збирання лікарської рослинної сировини – працівник-заготівельник безпосередньо впливає на якість зібраної сировини і стан ресурсів дикорослих видів лікарських рослин. Тому повинен володіти не лише навичками проведення збору сировини, а й мати уявлення про весь заготівельний процес з



### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

основами невиснажливого використання запасів сировини та охорони дикорослих видів рослин.

Для підвищення якості зібраної сировини персонал, який приймає участь у проведенні заготівельних робіт має отримати і настанови щодо збору здорових, добре розвинених та непошкоджених рослин із залученням взірцевих матеріалів (зразків сировини, живих рослин, гербарію, фотографій, ілюстрацій, тощо), а також отримати відповідні інструкції безпосередньо на місці збирання сировини.

Необхідність збереження біологічного різноманіття на рівні *in situ*, що гарантує стабільність навколишнього середовища, вимагає від науки розроблення заходів, спрямованих на збереження та збалансоване використання біологічних ресурсів, серед яких рослинні ресурси займають особливе положення, як основне джерело лікарської і технічної сировини.

Вагомим доповненням, а часто і прямою альтернативою використанню рослинних ресурсів дикорослих видів є лікарське рослинництво, яке функціонує як повноцінна складова сільськогосподарського виробництва і орієнтоване на виробництво лікарської і ефіроолійної сировини.

Стосовно сільського господарства науково-технічний прогрес забезпечує вдосконалення засобів виробництва і технологій на основі використання досягнень біологічної науки. Управління якістю продукції у лікарському рослинництві спирається не лише на процеси інтенсифікації технологій вирощування ефіроолійних і лікарських культур. На фізіологічні процеси формування якості лікарської рослинної продукції, зокрема сировини, впливають численні нерегульовані чинники – сонячна радіація, температура, опади та інші, разом із тим є ціла низка чинників регульованих, таких як селекційні досягнення – сорти і гібриди, удосконалений обробіток ґрунту, кращі попередники, добрива, засоби захисту рослин від бур'янів, шкідників, хвороб, регулятори росту, зрошення, тощо.

Найвищої продуктивності і якості та безпечності продукції лікарського рослинництва можна досягнути за умови оптимізації умов росту і розвитку рослин на основних етапах формування елементів врожайності та її якісних характеристик. З урахуванням чинників, які позитивно або негативно впливають на процес формування урожаю сировини та його якості і безпечності, можна значною мірою зрівноважити вплив не-

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

контрольованих, зокрема метеорологічних впливів і цілеспрямовано використати ті чинники, які контролюються людиною в процесі вирощування культур.

Досягти високого рівня урожайності та якості і безпечності лікарської і ефіроолійної сировини можливо за умови оволодіння науковими основами інтенсивних технологій, вмінням керувати їх складовими, тобто застосовування того чи іншого агрозаходу у відповідності з біологічними особливостями культивованих рослин і їх вимогами до чинників зовнішнього середовища. На кожному етапі розвитку рослини потребують конкретних співвідношень умов зовнішнього середовища, і чим ближчі ці співвідношення до оптимальних параметрів, тим кращі умови створюються для формування високої продуктивності рослин та якості отримуваної лікарської і ефіроолійної сировини. В зв'язку з цим, розробляючи систему агротехнічних заходів для максимальної реалізації потенціалу продуктивності сортів і гібридів лікарських культур, необхідно ще і враховувати основні закони землеробства і рослинництва.

Для забезпечення конкурентоспроможності вітчизняної продукції лікарського рослинництва на внутрішньому й зовнішньому ринках пріоритетними залишається якість і безпека продукції. Хоч Україна є активним експортером та імпортером лікарської рослинної та ефіроолійної сировини, міжнародні трейдери часто констатують невисоку якість сировини навіть традиційно «українських» видів, таких як *Matricaria*, *Calendula*, *Althea*, *Mentha*, *Urtica* тощо. Україна має і гіркий досвід, коли на світовому ринку нашу продукцію неодноразово затримували з претензіями щодо її якості, яка не відповідала вимогам ЄФ, Фармакопеї США та нормативним документам інших країн. Показовим є і той факт, що останнім часом фармацевтичні підприємства України перейшли на вимоги міжнародних практик у фармацевтичному виробництві Настанова 42-01-2001 «Лікарські засоби. Належна виробнича практика», яка повністю відповідає чинним міжнародним документам Good Manufacturing Practice (GMP) та врахована в ряді інших практик фармацевтичного виробництва. Внаслідок чого, вітчизняні фармацевтичні підприємства, змушені імпортувати лікарську рослинну сировину для своїх потреб і не лише іншоземних видів рослин, а й навіть тих видів, які масово зростають чи вирощуються в Україні, але з певних причин їх сировина не

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

відповідає запитам сучасного фармацевтичного виробництва [25; 26].

Аналіз сучасних можливостей галузі показує, що на рівні підприємств-виробників лікарської та ефіроолійної рослинної сировини головними чинниками неспроможності виробляти продукцію високого рівня якості є: невідповідний рівень якості насіннєвого і садивного матеріалу, що використовується для закладання виробничих плантацій, нестача або відсутність спеціальної техніки, обладнання та інших компонентів інфраструктури, недотримання технологій вирощування культур, збирання, висушування та зберігання та інших [28; 29].

Згідно із Законом України «Про насіння і садивний матеріал», лікарські рослини – це дикорослі, культивовані і культурні рослини або їхні частини (насіння, бруньки, квіти, плоди, стебла, кореневища, виділення тощо), що використовуються в медицині для виготовлення лікарських препаратів [30]. Тобто, при вирощуванні культурних рослин, зокрема поширених сільськогосподарських культур на отримання лікарської рослинної сировини зернових – стовпчиків з приймочками кукурудзи (*Stigmata Maydis*), плоди, трава вівса та зелений овес (*Avenae fructus*, *Avenae herbs*, *Avenae herba recens*), луб'яних – насіння льону (*Mucilago semini Lini*), круп'яних – трава гречки посівної (*Fagopyri herba*), овочевих – насіння гарбуза звичайного (*Cucurbitae Semen*) чи ягідних – плоди і листя малини звичайної (*Rubi idaei Fructus*, *Rubi idaei Folia*), плоди, листя та бруньки смородини чорної (*Rubis nigri Fructis*, *Rubis nigri Folia*, *Rubis nigri Gemmae*) необхідно дотримуватися правил контролю якості та безпечності, які висуваються до фітофармацевтичної сировини як під час вирощування, так і впродовж всього процесу виробництва сировини готової сировини.

Згідно з аналізу внутрішнього ринку лікарської рослинної сировини, найвживанішою сировиною є *Chammomilae Flores* (*Matricaria*), *Millefoli Herba* (*Achillea*), *Valerianae Rhizoma cum radicibus* (*Valeriana*), (*Rosa*), *Taraxaci Radix i Herba* (*Taraxacum*), *Origanum vulgare Herba* (*Origanum*), *Salviae Folium* (*Salvia*), *Echinaceae purpureae Radix i Herba* (*Echinacea*), *Silybi mariani fructus* (*Silybum*) та ін. Сприятливими для вирощування та збирання в природних умовах лікарської сировини є зони: Карпат, Лісостепу та Полісся, де зосереджені виробники лікарської рослинної сировини, як дикорослих видів, так і сільськогос-

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

сподарські підприємства, які вирощують сировину для внутрішніх потреб і реалізації. Часом через несприятливі економічні чи погодні умови заготівля лікарської сировини дикорослих видів катастрофічно знижується, як за конкретними видами сировини, так і в цілому. Подібні тенденції спостерігаються і з культивуванням лікарських рослин, коли та чи інша культура стрімко набуває популярності у сільгоспвиробників, або катастрофічно скорочує зайняті площі з тих чи інших причин, серед яких чи не найчастіше називається підвищені вимоги до якості та невідповідність ціни та зусиль виробника для досягнення відповідних якісних характеристик продукції [31; 32].

Так, за даними провідних компаній України зі збирання та первинної переробки сировини, загальний обсяг зібраної дикорослої сировини, що містить біологічно активні речовини і використовується у фармацевтичному виробництві, у період 2006–2016 рр. знизився у 5,5 рази. Водночас, фахівці визнають різні причини, в тому числі і зростання вимог щодо якості вихідної сировини, конкуренція з боку імпортованої сировини, відчутний вплив на цінову політику фірм посередників, відсутність біржових торгів тощо. На пік популярності час від часу потрапляли такі лікарські культури як: *Echinacea purpurea*, *Mentha piperita*, *Bidens tripartite*, *Silybum marianum* та інші, що призводило до перевиробництва і зростання вимог до якості з боку замовників та втрати інтересу до виробництва продукції з боку виробників сировини, тощо. Не зважаючи на те, що перелік лікарських видів, що культивується формується за істотного впливу з боку споживачів і часто доповнюється і змінюється, число компаній, які працюють із лікарською рослинною сировиною з року в рік зростає.

Найбільшими серед підприємств, які працюють з лікарською рослинною сировиною є: ТОВ «Фітосвіт ЛТД» (вирощування та оптовий продаж лікарських трав і рослин), ТОВ «АГ-РОФІТ» (Вирощування пряних, ароматичних і лікарських культур, торгівля фармацевтичними товарами), ФГ «ФІТОКОМ ГРУП» (Вирощування пряних, ароматичних і лікарських культур, відтворення рослин, виробництво фармацевтичних препаратів і матеріалів), «Сумифітофармація» (вирощування, збирання, перероблення, виробництво і постачання сировини для виробництва чаю), ТОВ «ЕЛПІС-Україна» (торгівля фармацевтичними товарами, збирання дикорослих недеревних продук-

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

тів, торгівля фруктами й овочами), ЗАТ «Ліктрави» (Житомир) (виробництво фітопрепаратів та фіточаїв), ВАТ «Галичфарм» (корпорації АРТЕРІУМ) (виробництво лікарських засобів на основі екстракції рослинної лікарської сировини), Науково-виробнича фармацевтична компанія «ЕЙМ» (виробництво лікарських препаратів, косметичних засобів та добавок до раціону харчування) та інші зазначають, що мали значні проблеми і доклали виняткових зусиль щодо якості та стабілізації ситуації з постачанням лікарської рослинної сировини [33; 34].

Основним джерелом постачання лікарської сировини є дикорослі, культивовані, культурні, а також імпортовані рослини. Зауважимо, що останніми роками стан заготівлі дикорослих рослин погіршився, оскільки активна господарська діяльність та земельна реформа призвела до знищення та порушення осередків зростання багатьох видів лікарських рослин. Тому, на думку багатьох фахівців, Україна має перейняти досвід країн ЄС та скоротити обсяги використання дикорослих лікарських видів та поступово перейти до удосконалення системи лімітування збирань дикорослих видів та культивування лікарської рослинної сировини необхідної для вітчизняної промисловості та для експортних потреб [35; 36; 37].

Досвід провідних науково-дослідних установ з вивчення лікарських рослин вказує, що в ґрунтово-кліматичних умовах України можливе ефективно не лише збирання значного різноманіття дикорослої лікарської сировини, а й успішне вирощування близько 60-100 видів рослин із лікарськими властивостями, які використовуються або можуть бути використані для потреб фармацевтичної промисловості. Проте не зважаючи на успіхи проведених інтродукційних і селекційних досліджень, на сьогодні лише 25-30 видів культивуються у сільськогосподарських підприємствах різних форм власності та агропромислових об'єднаннях. Не менш вагомим джерелом постачання сировини для потреб фармацевтичних підприємств є імпортування лікарської сировини рослинного походження, це здебільшого рослини, які не зростають і не вирощують у нашій країні, але використовуються для виготовлення вітчизняних лікарських препаратів.

З огляду на завдання, які поставлені програмою імпортозаміщення, є значне поле діяльності з пошуку джерел біологічно активних речовин серед представників місцевої флори, ін-

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

тродукції та розроблення технологій вирощування цінних видів іноземного походження. Завдання, які поставлені перед фахівцями із стандартизації лікарської рослинної сировини повинні бути узгоджені і тісно пов'язані з напрямками інтродукції, селекційних досліджень та розробленням технологій вирощування, збирання, доробки та зберігання лікарської рослинної сировини.

Понад 50 тис. видів рослин світової флори, використовуються як лікарські. Для медичних потреб із 400 тис. видів використовують 20 тис., а деякі науковці вважають, що ця цифра може сягати 50 або навіть 70 тис. видів, зважаючи на широту поняття «лікарський». Нині під загрозою зникнення перебувають 15 тис. видів рослин, які використовуються людством для лікування і профілактики захворювань та як добавки до раціону здорового харчування [19; 31; 32]. У різних країнах світу ефективність використання флори з лікарською метою є неоднаковою і залежить як від багатства флори, так і від традицій фітотерапії та розвитку фармацевтичного виробництва. Так, у Європі використовується близько 2000 видів лікарських рослин з них 1200–1300 видів є дикорослими рослинами і їх сировина збирається в природних угрупованнях майже всіх континентів. Найбільше різноманіття лікарських рослин виявлено в Китаї, Індії та США, флора цих країн характеризується значним різноманіттям завдяки наявності різних кліматичних умов та ландшафтів. Дані щодо кількості видів з лікувальними властивостями свідчать про ступінь вивченості флори окремих регіонів щодо вмісту біологічно-активних речовин у рослинах та тісно пов'язана з традиційним використанням місцевої флори народами цих країн. Найбільш детально вивчена флора Індії де з 18664 видів рослин понад 3000 використовуються для медичних потреб, у Китаї з 32200 видів рослин майже 5 000 (2941) вивів є лікарськими. Саме Індія та Китай належать до країн світу з найбільш відомими древніми традиціями використання природних продуктів – мінералів, речовин рослинного і тваринного походження. За обсягами експорту лікарської рослинної сировини Китай займає перше місце в світі, а Індія – друге [19; 32].

Так, в Україні з 2219 видів рослин, які використовуються у сфері гуманної, ветеринарної і традиційної (народної) меди-

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

цини, лише 10% (244 види) це культурні, культивовані, інтродуковані види, решта – дикорослі види.

З 244 видів культивованих рослин – 32 види є сільськогосподарськими культурами, 29 – плодовими та ягідними, 150 видів рослин вирощують для одержання лікарської і ефіроолійної сировини, а решта зростають у садах, приватних колекціях та парках [32; 35].

Україна в останні роки відновлює обсяги експорту низки сировини лікарських рослин: *Hippocastani Fructus*, *Silybi mariani fructus*, *Sambuci Fructus*, *Betulae Folia*, *Betulae Gemmae*, *Urtica Folia*, *Urtica Herba*, *Frangulae Cortex*, *Echynaceae Herba*, *Echinaceae Rchizoma et Radix*, *Herba Chelidoni*, *Herba Hyperici*, *Stigmata Maydis*, *Equiseti arvensis*, *Helichrysi arenarii Flores*, *Calami Rchizoma*, *Cuxurbitae peponis semen* та *Lini semen* тощо. Перелік видів сировини розширюються, а обсяги зростають, що підтверджує позитивні тенденції у забезпеченні відповідності вимог до якості сировини як внутрішніх, так і зовнішніх споживачів. Розширюється коло споживачів, серед яких фармацевтичні підприємства, виробники біологічно-активних добавок, продуктів харчування, трав'яних і фруктових чаїв, продуктів екогігієни, косметичних і парфумерних засобів, що позитивно відображається на розвитку як підприємств із використання природних ресурсів лікарських рослин, так і сільськогосподарських підприємств, які вирощують лікарську та ефіроолійну сировину.

Виробництво лікарської і ефіроолійної сировини зорієнтоване як на внутрішній, так і на зовнішній ринки. У період з 2015 по 2020 рр. обсяги експорту з України зросли на 87,6% та перевищили обсяги імпорту на 23,9% у натуральному виразі. Вітчизняні виробники реалізують за кордон досить широкий асортимент сировини, що підтверджує перспективність та економічну доцільність вирощування лікарських рослин. Так, українські виробники реалізують за кордон доволі широкий діапазон продукції, як дикорослих, так і культивованих лікарських рослин – найбільша питома вага припадає на *Echynaceae Herba*, *Echinaceae Rchizoma et Radix* – 35,82%, *Hippocastani Fructus* – 17,08, *Silybi mariani fructus* – 10,36, *Sambuci Fructus* – 5,68% [38].

Швидкими темпами розвивається і переробка сировини в Україні, окрім традиційного фармацевтичного напрямку, стрім-

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

ко зростає виробництво трав'яних і фруктових багатокомпонентних чаїв, що за останні 10 років зросло в 5 разів. Водночас слід наголосити на частково реалізовані можливості українських виробників щодо розширення експорту напівфабрикатів – сухих, рідких і густих екстрактів із лікарських рослин, ефірної олії, порошкової сировини, а також готової продукції з лікарської сировини, зокрема багатокомпонентних фітопрепаратів, галенових препаратів, трав'яних та фруктових чаїв, тощо.

Для забезпечення сировиною вітчизняного виробництва і експорту в Україні зростають виробничі площі зайняті лікарськими рослинами. Сільськогосподарські виробники чітко реагують на потреби ринку, за даними Державної служби статистики України, у 2020 р. істотно зросли площі зайняті під лікарськими та ефіроолійними культурами:

- під лікарськими на 62,6%
- під ефіроолійними на 36,9%

Це є черговим аргументом того, що розвиток лікарського рослинництва потребує уваги як державних структур, так і бізнесу.

Зростають площі зайняті такими культурами як: *Valeriana officinalis*, *Rosa sp.*, *Mentha piperita*, *Savlia officinalis*, *Matricaria recutita*, *Lavandula angustifolia*, *Hippophae rhamnoides*, *Sambucus nigra* та багатьма іншими видами лікарських с і ефіроолійних рослин.

У структурі імпорту сировини лікарських рослин до України незмінно лідируючі позиції займає *Chammilae Flores (Matricaria)*, хоча є традиційною культурою для нашої держави, у значних обсягах імпортується також *Basilici Herba*, *Valerianae Rhizoma cum radicibus*, *Calendulae Flores*, *Menthae piperitae Herba* та *Folium, Menthae piperitae Aetholeum* – сировина культур, які мають вітчизняний доволі конкурентний сортовий ресурс, високотехнологічні засоби вирощування і адаптовані до умов України. Взаємодія між аграрним та промисловим секторами економіки могла б сприяти розвитку вітчизняного лікарського рослинництва, а з цим і зняти низку проблем фармацевтичного виробництва.

Попит на лікарську рослинну сировину щорічно збільшується майже на 20%, зростає кількість і різноманітність споживачів лікарської рослинної сировини як дикорослих, так і



### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

культивованих видів [38]. Нові вектори використання лікарської рослинної сировини висувають різні, іноді принципово нові вимоги щодо її якості, спираючись на іноземні нормативні документи, галузеві стандарти та стандарти підприємства, що значно ускладнює роботу як галузей, що виробляють сировину, так суміжних галузей і всіх операторів ринку.

На національному рівні для забезпечення виробників лікарської рослинної сировини відповідними науково-методичними матеріалами, які б пояснювали основні вимоги щодо організації виробництва та управління якістю і безпекою продукції, розробляються настанови, інструкції та посібники з прикладами ведення документації та контролю якості, технологічними регламентами, тощо [7; 39].

Основними векторами розвитку виробництва лікарської рослинної сировини, враховуючи сучасні тенденції, є:

- пошук джерел до донорів біологічно-активних речовин рослин, грибів, лишайників за для розроблення лікувальних і профілактичних засобів людей і тварин на основі біохімічного скринінгу флори і мікоти та досвіду етномедицини;
- розширення сировинної бази цінних видів лікарських рослин за рахунок використання близько родинних видів певних таксономічних груп, як перспективних джерел біологічно-активних речовин з достатніми запасами сировини [31; 32];
- інтродукція та культивування представників місцевої флори з обмеженим сировинним потенціалом, особливо тих, які знаходяться під охороною на регіональному, державному чи міжнародному рівні;
- акліматизація та ведення в промислову культуру іноземних видів рослин, які мають значний попит на сировинну вітчизняних споживачів чи пов'язані з іншими проблемами нестабільної сировинної бази.

Попри складну ситуацію, виробництво лікарської рослинної сировини продовжує нарощувати обсяги виробленої продукції та підвищує її якість, відповідно до зростаючого попиту. Сучасне виробництво здійснюється з урахуванням нових технологій, розвитку наукової бази, маркетингової і логістичної діяльності підприємств. Як зазначалося, на виробництво лікарської рослинної сировини впливає багато чинників: природно-кліматичні, ґрунтові і погодні умови, а також і фінансові

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

та організаційно-виробничі проблеми, які виникають на конкретному підприємстві чи між підприємствами одного споживчого ланцюга. За для забезпечення вирішення питань пов'язаних з управлінням якістю в процесі виробництва сировини необхідно узгодження як кінцевої мети виробництва, так і стандартизації запитів конкретних споживачів, що потребує тісної взаємодії аграрного та промислового секторів економіки, удосконалення законодавства та нормативних документів.

Україна є відомим виробником лікарської рослинної сировини, що виводить її у лідери за ефективністю використання фітофармацевтичної сировини у медичних цілях. Зростання попиту та привабливі цінові пропозиції робить цю галузь популярною серед дрібних і середніх сільськогосподарських товаровиробників, значна частка великих аграрних підприємств все частіше розглядає виробництво лікарської рослинної сировини, серед нішевих позицій.

Нині лікарську рослинну сировину постачають переважно дрібні і середні підприємці-сільгоспвиробники – фермери, деякі лісові господарства, фізичні особи підприємці, приватні селянські господарства, тощо, які мають обмежені можливості щодо створення належних умов з виробництва, доробки та зберігання лікарської рослинної сировини.

Залучення до процесу виробництва нових видів сировини стикається з необхідністю всебічного вивчення об'єктів промислу чи культивування та розроблення настанов та правил щодо управління якістю продукції. Зацікавлені сільськогосподарські підприємства мають різні підходи до вирощування нових у своїй діяльності культур та різні господарсько-економічні можливості, що часто призводить до різних якісних характеристик кінцевого продукту та виникненню подальших проблем із реалізацією сировини.

Україна поетапно запроваджує і гармонізує нормативно-правову базу фармацевтичного сектору виробництва з європейським і міжнародним законодавством, а також проводить імплементацію його принципів у діяльність вітчизняних фармацевтичних і суміжних з ними виробництв, що своєю чергою вимагає розроблення та гармонізації системи управління процесами формування продуктивності та якості фітофармацевтичної сировини у процесі всіх етапів її виробництва, зберігання, транспортування, тощо.

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

Окрім фармацевтичної галузі, яка здебільшого визначилася з позиціями щодо якості лікарської рослинної сировини, споживачі інших галузей, хоч і мають менш жорсткі вимоги з контролю, висувають здебільшого мало деталізовані вимоги з якості, що супроводжується подальшими маніпуляціями, претензіями, заниженням ціни, тощо. Підприємства галузей споживачів лікарської і ефіроолійної сировини, які в своїй роботі керуються застарілими нормативними документами часів СРСР або взагалі не мають нормативних документів чи вимог до лікарської рослинної сировини, повинні спільно з виробниками розробити такі підходи до якості, які були б прийнятні як для споживачів, так і для виробників лікарської рослинної сировини.

Найбільш важливими проблемами, що пов'язані з регулюванням якості вихідної лікарської рослинної сировини в процесі виробництва, є:

- створення єдиної класифікації продукції, що містить лікарську рослинну сировину з висуванням відповідних вимог до вихідної сировини рослинного походження;
- стандартизація лікарської рослинної сировини, що передбачає єдині підходи до якості продукції лікарського рослинництва не залежно від сфери її подальшого використання, з регулюванням придатності до використання в тій чи іншій галузі лише за кількісними показниками;
- розроблення нових методів дослідження вихідної лікарської рослинної сировини, що відображають природний вміст біологічно-активних речовин та доступних до застосування для всіх зацікавлених сторін;
- розроблення узгоджених підходів до створення системи забезпечення якості фітопрепаратів на всіх етапах їх виробництва та виробництва вихідної сировини, які б забезпечували ефективність та безпеку кінцевого продукту.

Зважаючи на те, що сільськогосподарське виробництво та промисловість мають свої, часто відмінні, уявлення про організацію процесів, зокрема тих, які стосуються управління якості, суміжні галузі повинні мати гармонізовані принципи управління процесами, що мають вплив на якість кінцевого продукту – лікарської рослинної сировини та лікарських засобів рослинного походження.

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

#### Література до розділу 3:

1. Саксон В. Філіп Кросбі, розробник концепції нульових дефектів. Нью-Йорк Таймс. 2001. 22 серпня. С. 5.
2. WHO International World Health Organization, WHO 2012. [Електронний ресурс].<http://www.who.int/research/en>.
3. WHO/EDM/TRM/2000. General guidelines for methodologies on research and evaluation of traditional medicine / World Health Organization. Geneva. 2000. 80 p.
4. Patel P.M., Patel N.M., Goyal R.K. Quality control of herbal products. *The Indian Pharmacist*. 2006. Vol. № 5 (45). P. 26-30.
5. Dixit V.K., Yadav N.P. Recent approaches in herbal drug standardization. *Integrative Biology*. 2008. Vol. №2 (3). P. 195-203.
6. Мінарченко В.М., Каплуненко В.Г., Глущенко Л.А., Ковальська Н.П., Бабенко Л.М. Мінеральний склад кореневищ перстачу прямостоячого (*Potentilla erecta* L.). *Фармацевтичний журнал*. 2017. № 1. С. 74-83.
7. Лікарські засоби. Належна практика культивування та збирання вихідної сировини рослинного походження: Настанова СТ-Н МОЗУ 42-4.5:2012. К.: МОЗ України, 2012. 13 с. (Стандарт МОЗ України).
8. ДСТУ ISO 9000-2001 Система управління якістю основні положення та словник. К.:Держстандарт України. 2002. 32 с. (Стандарт України).
9. Мельник Ю.Ф., Новіков В.М., Школьник Л.С. Основи управління безпечністю харчових продуктів. К.: Видт-во Союзу споживачів України, 2007. 297 с.
10. Стандартизація фармацевтичної продукції / М. Ляпунов і ін. Харків: Моріон. 2012. 728 с.
11. Велютнева В.О., Убогов С.Г., Буднікова Т.М. та ін. Нормативно-правове регулювання у сфері забезпечення якості лікарських засобів в Україні: ретроспективний аналіз *Фармацевтичний журнал*. 2013. № 4. С. 9–18.
12. Ahmad I., Ahmad M.S., Cameotra S.S. Khan Quality Assessment of Herbal Drugs and Medicinal Plant Products. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. 2014. P. 1-17.

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

13. WHO Quality Control Methods for Herbal Materials [Електронний ресурс]. <http://apps.who.int/medicinedocs/en/d/Jh1791e/>
14. Ветютнева Н.О., Убогов С.Г., Федорова Л.О. Регіональна система запобігання ввезенню та поширенню неякісних і фальсифікованих лікарських засобів: сучасний стан та напрямки вдосконалення. *Укр. вісник психоневрології*. 2015. Т. 23. Вип. 3 (84). С. 25-29.
15. Ейбен Г.С. Принципи функціонування системи якості суб'єктів фармацевтичної діяльності: автореф. дис. канд. фармацевт. наук: спец. 15.00.01. К.: Нац. мед. акад. післядиплом. освіти ім. П.Л. Шупика. 2011. 24 с.
16. Законодавче забезпечення системи контролю якості лікарських засобів в Україні: Збірка нормативно-правових актів / За ред. С.В. Гарної. Харків: НФаУ. 2010. 210 с.
17. Зеліско Д.С., Кравчук Ж.Н. Современные требования к качеству и стандартизации лекарственного растительного сырья. *Агроекологічний журнал*. 2016. №2. С. 49-59.
18. Атлас морфолого-анатомічних ознак сировини дикорослих споріднених видів лікарських рослин України / Мінарченко В.М. і інші. К.: ПАЛИВОДА А. В. 2022. 438 с.
19. Попова Н.В., Литвиненко В.И., Куцянян А.С. Лекарственные растения мировой флоры. Харьков: Дыса плюс, 2016. С. 418-420.
20. Державна Фармакопея України. 2-е вид. Доповнення 3. Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2018. 416 с.
21. Державний реєстр лікарських засобів в Україні. Materials [Електронний ресурс]. <http://www.drlz.com.ua/ibp/dsite.nsf/all/shlist?opendocument&stype=8>
22. Тимченко І.А., Глущенко Л.А., Мінарченко В.М., Аніщенко Т.М. Моніторинг ресурсів видів роду *Thymus* L. в Україні. *Укр. ботан. журн.* 2007. 64. № 1. С. 78-87.
23. Свіденко Л.В., Глущенко Л.А. Компонентний склад ефірної олії у формах видів чебрецю повзучого (*Thymus serpyllum* L.) і блошиного (*Thymus pulegioides* L.) в умовах Херсонської області. *Агроекологічний журнал*. 2016. № 2. С. 129-134.
24. Литвиненко В.И., Попова Т.П., Воловик В.Г., Гольдберг Е.Д., Дыгай А.М., Суслов Н.И. Фитохимия и фармаколо-

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

гические свойства препаратов шлемника байкальского. Харьков: ГЦАС, 2007. 763 с.

25. Лікарські засоби. Управління ризиками для якості (ICH Q9): Настанова СТ-Н МОЗУ 42-4.2:2011. К.: МОЗ України, 2011. 26 с. (Стандарт МОЗ України).

26. Лікарські засоби. Фармацевтична система якості (ICH Q10): Настанова СТ-Н МОЗУ 42-4.3:2011. – К.: МОЗ України, 2011. 22 с. (Стандарт МОЗ України).

27. Глущенко Л.А. Вплив деяких екологічних факторів на сировинну цінність ценопопуляцій *Ledum palustre* L. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2014. № 1. Т. 10. С. 26–33.

28. Фурдичко О.І., Никитюк Ю.А. Історичні аспекти та перспективи розвитку лікарського рослинництва в Україні. *Агроекологічний журнал*. 2016. № 2. С. 10-15.

29. Дребот О.І., Сологуб Ю.О. Інституційне забезпечення лікарського рослинництва в Україні. *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України*. 2018. Вип. 1 (129). С. 116–120.

30. Закон України «Про насіння і садивний матеріал» [Електроний ресурс]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/411-15#Text>

31. Мінарченко В.М. Ресурси лікарських рослин. Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, докторська дисертація. Спеціальність: 03.00.05 – ботаніка. 481 с.

32. Мінарченко В.М. Класифікація лікарських рослин. Посібник українського хлібороба: науково-практичний збірник. Київ. 2015. Т.1. С. 239-250.

33. Європейці активно скуповують українські трави та ягоди. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://tsn.ua/groshi/evropeytsi-aktivno-skupovuyut-ukrayinski-travi-ta-yagodi-319840.html>

34. Бізнес на травах: в коронокризу попит зростає. [Електроний ресурс]. Режим доступу: <https://agravery.com/uk/posts/show/biznes-na-likarskih-travah-u-koronakrizu-popit-zrostaе>

35. Мінарченко В.М. Лікарські судинні рослини України (медичне та ресурсне значення). Київ: Фітосоціоцентр, 2005. 324 с.

### РОЗДІЛ 3. ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕЧНОСТІ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

---

36. Тимченко І.А., Глущенко Л.А., Мінарченко В.М., Аніщенко Т.М. Моніторинг ресурсів видів роду *Thymus* L. в Україні. *Укр. ботан. журн.* 2007. 64. № 1. С. 78-87.

37. Мінарченко В.М., Тимченко І.А., Глущенко Л.А., Сивоглаз Л.М. Методичні аспекти моніторингу недеревних рослинних ресурсів. *Агроекологічний журнал.* 2008. № 3. С. 32-36

38. Державна служба статистики України. Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

39. Належна практика культивування і збору лікарської рослинної сировини (GACP) як гарантія якості лікарської рослинної сировини і препаратів на її основі. Науково-практичний посібник / Глущенко Л.А., Губаньов О.Г., Серета О.В. та ін. Лубни: Комунальне видавництво «Лубни», 2018. 123 с.

---

## РОЗДІЛ 4.

### РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

**Чоботько Г.М.**

**Ключові слова:** *доза внутрішнього опромінення, природно-кліматичні особливості, міграція радіонуклідів, продукти харчування.*

Розуміння людством проблеми стану довкілля проявляється у виробленні різного роду концепцій: проживання людини на забруднених територіях, сталого розвитку природних та напівприродних екосистем. Вирішення питання про забезпечення умов коеволюції людини та біосфери вимагає системного аналізу проблеми взаємодії людини та навколишнього середовища.

Одним із найбільш важливих видів взаємодії людини та навколишнього середовища є сільське господарство. Сільське господарство – важлива структурна ланка єдиного народно-господарського комплексу, в якій формується продовольча база суспільства. Тут розміщені значні земельні, виробничі і трудові ресурси. Тому розвиток агроекологічних систем приймає все більш зростаюче значення як предмет екологічного прогнозу. У культурних біогеоценозах – агроценозах – найбільш яскраво проявляються всі аспекти взаємодії людини з оточуючим її природним середовищем. Підвищення ролі агроекосистем в розвитку біосфери відбувається не тільки за рахунок розширення зайнятих ними територій, але й внаслідок збільшення діапазону та інтенсивності дій зі сторони людини. Оцінка екологічних наслідків цих явищ стала необхідним елементом раціонального природокористування.

У результаті аварії в навколишнє середовище була викинута велика кількість різних радіонуклідів техногенного походження до складу яких, в значній кількості входив аналог біогенних елементів, такого як калій –  $^{137}\text{Cs}$ . Як відомо, цезій активно включається в харчовий ланцюг і може створювати значні дозові навантаження на населення навіть через багато років після аварії. Сьогодні, в віддалений період аварії основним джерелом надходження в організм людини  $^{137}\text{Cs}$ , що фо-



## **РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

---

мує дозу внутрішнього опромінювання є, переважно, продукти харчування і питна вода [1; 2].

Українське Полісся є регіоном, що найбільше постраждав унаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. Тому для цієї зони, яка переважно вкрита хвойно-широколистяними лісами, дослідження міграції радіонуклідів є актуальним завданням, що вимагає невідкладного вирішення.

Радіоактивне забруднення Українського Полісся особливо небезпечно з огляду на те, що радіонукліди  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  мають великий період напіврозпаду. Це зумовлює їх тривалу циркуляцію в природних екосистемах і подальше повторне забруднення екосистем.

Актуальними є проблеми дослідження особливостей проживання людей і ведення ними господарства на забруднених радіонуклідами територіях та прогнозування радіоекологічних ситуацій у майбутньому – тобто проблема міграції радіонуклідів у екосистемі та проблема радіогенних ефектів впливу на організм радіонуклідів [3; 4].

***Деякі природні та кліматичні особливості території північної частини Українського Полісся.***

*Кліматичні особливості території північної частини Українського Полісся.* Полісся характеризується низовинним рельєфом, Клімат помірно континентальний, літо тепле, вологе. Зима м'яка, із частими відлигами, особливо на заході. Температури січня з заходу на схід змінюються від  $-4,5$  до  $-8$  С. У середньому за рік в Українському Поліссі випадає 600–680 мм опадів. Кліматичні умови і рельєф обумовлюють велику густоту річкової сітки, утворення боліт. Ґрунти зони дерново-підзолисті і болотні. Природну рослинність складають лісові, лучні і болотні види. З лісів переважають соснові (бори), дубово-соснові (субори) і дубово-грабові. У XVI - XVII ст. вся територія Полісся на захід від Дніпра була покрита лісами. Нині лісистість складає лясше 30%. Середня розораність Полісся – понад 30%, а ділянки середньопідзолистих (досить родючих) ґрунтів розорані на 80%. Луки займають 10% території. Багато боліт осушено і перетворено на сільгоспугіддя. Для Полісся характерні типово лісові тварини: козуля, лось, дикий кабан, вовк, лисиця, рись, куниця, заєць, білка, борсук, із птахів – тетерев, глухар, рябчик. Водяться бобр, видра. Українське Полісся поділяється на 5 фізико-

#### РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

---

географічних областей: Волинське, Житомирське, Київське, Чернігівське і Новгород-Сіверське Полісся.

*Природні особливості території північної частини Українського Полісся.* Територія північної частини Українського Полісся характеризується широкими заболоченими річковими долинами, позитивним балансом вологи, пануванням дерново-підзолистих і болотних фунтів, які сформувалися переважно на піщаному субстраті, високим рівнем ґрунтових вод, значним поширенням соснових лісів із домішкою широколистяних порід. На Поліссі спостерігається велике різноманіття природних територіальних комплексів, що ускладнює сільськогосподарське використання території. Головною причиною своєрідності й різноманіття природи Полісся є його походження і розвиток в антропогенному періоді. В рельєфі Поліської низовини головну роль відіграють річкові долини, зандрові, морено-зандрові та моренні рівнини, частково моренно-горбистий рельєф і денудаційні форми на корінних (докембрійських і крейдових) відкладах. Поліська низовина з півночі і півдня обмежена височинами, із яких до Прип'яті стікається значна кількість приток. Такий характер рельєфу разом із геологічними, гідрологічними особливостями та кліматичними умовами сприяє значному заболоченню; й зволоженню Полісся. Найбільше поширення на Поліссі мають низинні болота, які живляться річковими водами (переважно навесні, коли річки розливаються). Найбільш заболоченим є Волинське Полісся, яке займає Волинську область і частину Рівненської. Особливістю фунтового покриву Полісся є велика строкатість, зумовлена рельєфом і характером фунтоутворюючих порід, глибиною залягання ґрунтових вод. Ґрунти Полісся сформувалися переважно на безкарбонатних піщаних і супіщаних відкладах легкого механічного складу, в умовах значного зволоження, під мішаними лісами з густим трав'янистим покривом. В таких умовах сформувалися дерново-підзолисті фунти різного механічного складу, ступеня оглеєності й підзолистості, а також болотні ґрунти. На лесових "островах" зустрічаються сірі та темносірі лісові фунти [5; 6].

Серед дерново-підзолистих ґрунтів найбільше поширення мають дерново-слабопідзолисті й дерново-середньопідзолисті. Дерново-середньопідзолисті ґрунти займають переважно вододільні простори, складені супіщаними водно-льодовиковими

## **РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

---

та льодовиковими відкладами. Властивістю цих фунтів є підвищена кислотність. Іноді, серед дерново-середньопідзолистих фунтів плямами зустрічаються сильнопідзолисті ґрунти.

На Поліссі розвинені також дерново-підзолисті глеюваті й глейові фунти. Значну роль у ґрунтовому покриві Полісся відіграють болотні ґрунти. Вони займають, в основному, сучасні й давні річкові долини та улоговини. Великі масиви болотних ґрунтів зосереджені в північних районах. Луки займають на Поліссі значні площі, та є важливими природними кормовими угіддями.

Специфічні природні умови регіону – кисла реакція ґрунтів, бідність їх глинистими та слюдистими мінералами, висока зволоженість території, наявність великої кількості лісів, боліт і торфовищ сприяють посиленій міграції радіонуклідів з ґрунту в рослини та по трофічних ланцюгах далі. Як наслідок в віддалений період після аварії на Чорнобильській АЕС спостерігались високі рівні забруднення ґрунтів і продуктів харчування [7]. Споживання продукції присадибних господарств, висока доля у раціоні населення ягід і грибів спричиняють високе надходження радіонуклідів в організм людини. Тому, в цьому регіоні зафіксовані найвищі з уражених територій паспортні дози опромінення населення. У зв'язку з цим екологічна оцінка забруднених радіонуклідами територій, виявлення найбільш небезпечних ділянок, вивчення закономірностей зниження з часом рівнів забрудненості різних угідь від радіонуклідів є дуже актуальними питаннями. Розв'язання їх дозволило б отримувати відносно чисту продукцію на забруднених землях та запобігати поширенню ареалу забруднення [3].

### ***Формування доз внутрішнього опромінення населення в віддалений період після аварії на Чорнобильській АЕС.***

Важливою проблемою екології є вивчення радіоекологічних аспектів впливу радіонуклідів на навколишнє середовище (біоту) та, особливо, на людину – оцінка індивідуальних і колективних еквівалентних доз опромінення на органи і тканини, стану обмінних процесів в організмі внаслідок тривалого проживання на забруднених радіонуклідами територіях [8]. Слід зазначити принципові відмінності при оцінці впливу радіонуклідів на біоту і людину. Якщо для біоти основним показником

#### РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

---

впливу іонізуючого випромінювання є здатність популяцій підтримувати свою чисельність, то для людей, що проживають на забруднених радіонуклідами територіях це стан здоров'я і генетичні порушення у їх потомства [9; 10].

*Проблема міграції радіонуклідів* в екосистемі характеризується коефіцієнтами накопичення і переходу радіонуклідів в системі ґрунт-рослина-людина та ґрунт-рослина-тваринна продукція-людина. Як відомо коефіцієнт накопичення  $^{137}\text{Cs}$  значною мірою залежить від ступеня кислотності ґрунтів. Велика кількість протонів у ґрунті спричинює статистичний перерозподіл атомів цезію між ґрунтовим розчином і колоїдними частинками ґрунту в бік збільшення ймовірності їх знаходження у розчині, тобто в біологічно доступній формі. Таким чином, значна кислотність, яка характерна для ґрунтів Полісся, є однією з причин спостережуваних великих абсолютних значень коефіцієнта накопичення. Другою причиною, яка також обумовлює великі значення коефіцієнта переходу радіонукліда, є значна зволоженість ґрунтів.

Відомо, що одним з головних наслідків Чорнобильської аварії є радіонуклідне забруднення сільськогосподарських угідь з різними екологічними параметрами, в першу чергу, типом ґрунтів та їх зволоженням, що є головними природними чинниками, які визначають інтенсивність включення радіонуклідів у трофічні ланцюжки. Така закономірність впливає, в свою чергу, на інтенсивність забруднення продуктів харчування рослинного і тваринного походження. Неоднорідність забруднення територій стало важливим фактором, що обумовлює складну динамічну картину формування доз опромінення у населення за рахунок трофічного шляху надходження радіонуклідів в організм людини [11].

Для населення Українського Полісся, в якому ліси та луки є поширеними екосистемами, ця проблема залишається актуальною дотепер. Полісся – найзабрудненіший після аварії на ЧАЕС регіон України його площа складає близько 20% площі України [12], а площа лісів регіону складає близько 38% площі лісового фонду України.

Формування доз опромінення населення в віддалений період після аварії на Чорнобильській АЕС – це процес, що визначається не тільки масштабами забруднення радіонуклідами, але й від природних та соціальних факторів: фізико-

#### **РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

---

хімічні параметри агроценозів, що визначають коефіцієнти переходу радіонуклідів трофічними ланцюжками; соціально-економічні фактори, що впливають на масштабність контрзаходів обумовлених зменшенням переходу радіонуклідів з ґрунту в рослину та інформованість населення (обізнаність людей, бажання та можливість харчуватися чистими продуктами, організація побуту) [13].

В останнє десятиріччя майже кожен із перерахованих факторів в повній мірі не виконується. Погіршення економічної ситуації в державі обумовило те, що соціальний фактор, який мав би пом'якшувати дію екологічних проблем, майже зник, і рівень забруднення продуктів харчування та їх територіальний розподіл, майже безпосередньо, визначається дією природних факторів та особливостей аварії. В цих реаліях сучасної України найбільш складним стало питання визначення доз опромінення населення, пов'язаних з вживанням продуктів місцевого походження.

Складна динаміка розповсюдження радіонуклідів, їх перенесення на значні відстані зумовило радіоактивне забруднення значних територій. Особливої уваги заслуговують забруднені радіонуклідами екосистеми лук, боліт, лісів та сільськогосподарських угідь в зоні Українського Полісся. Ризики отримання високих рівнів забруднення радіонуклідами багато в чому визначаються природними умовами та фізико-хімічними властивостями ґрунтів. Ці причини зумовлюють характерні для даної території великі значення коефіцієнтів переходу радіонуклідів в ланцюзі ґрунт–рослина–молоко.

Радіоекологічні обставини багато в чому визначаються природними умовами. Для адекватної оцінки радіоекологічної ситуації у радіаційно забруднених населених пунктах важливим завданням є виділення критичних у радіоекологічному розумінні екосистем та їх питомого вкладу в загальне радіаційне навантаження на населення. Ліси, що займають значні площі (табл. 1).

На території Українського полісся є критичними екосистемами з погляду формування доз внутрішнього опромінення населення при вживанні лісових харчових продуктів. А обумовлено це кількома факторами:

- щільність радіоактивного забруднення в лісах у середньому на 25–30% вища, тому в локальному значенні санітарно-радіологічна роль лісів є визначальною;

**РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

*Таблиця 1.*

**Розподіл площ лісів Українського Полісся за щільністю забруднення території <sup>137</sup>Cs**

Область	Загальна площа лісів, км <sup>2</sup>	Площі лісів (км <sup>2</sup> ) із забрудненням, Кі/км <sup>2</sup>					
		<1	1–2	2–5	5–10	10–15	>15
Житомирська	7322	2 924	1 825	1 583	5 03	164	324
Рівненська	6715	2 936	2 153	1 516	1 07	3	0
Київська	3723	1 780	12 93	3 82	1 30	55	93
Чернігівська	3486	2 738	4 74	2 31	33	9	0,6
Волинська	1784	3 69	53	—	—	—	—

*Джерело:* [14].

- у післяаварійний період лісові екосистеми міцно утримують значну кількість радіонуклідів, тим самим захищаючи від радіоактивного забруднення поверхневі і ґрунтові води, а також суміжні ландшафти;

- ліси, забруднені радіонуклідами, зберегли і свої санітарно-захисні функції, що виявляються в запобіганні вторинному перенесенню радіонуклідів [15].

- значно вищими (на один-три порядки) коефіцієнтами переходу <sup>137</sup>Cs та <sup>90</sup>Sr до харчових продуктів лісу у порівнянні із сільськогосподарськими продуктами;

- неможливістю активно вплинути на швидкість відновлення лісів після радіоактивного забруднення, що обумовлює надзвичайно низькі темпи цього процесу, які визначаються, головним чином, швидкістю фізичного розпаду радіонуклідів;

- традиційним масовим використанням харчових продуктів лісу населенням лісних районів.

За даними наукової літератури відомо, що між споживанням харчових продуктів з лісової екосистеми та вмістом <sup>137</sup>Cs в організмі жителів існує тісний зв'язок. Формування до-

## РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

---

зи внутрішнього опромінення залежить від вживання харчових продуктів лісу і може становити від 12–40% у всього населення та до 50–95% у його критичних груп, а також в залежності від щільності забруднення території, лісорослинних умов, видового складу та ресурсів грибів та ягід, етнічних особливостей дієти та кулінарної обробки. Крім того, для радіоактивного забруднення харчових продуктів лісу характерною є ще і певна багаторічна динаміка, що залежить від кліматичних умов року, та видова специфічність накопичення радіонуклідів.

Вплив людини на реабілітацію лісових екосистем, в порівнянні з іншими екосистемами, обмежений, тому такі екосистеми можуть стати придатними для господарського використання практично від швидкості їх автореабілітації.

### ***Міграція радіонуклідів та радіоактивне забруднення харчових продуктів.***

Досліджені особливості міграції радіонуклідів у лісових ґрунтах як початку трофічних ланцюжків, що починаються в лісових екосистемах і закінчуються людиною. Лісові екосистеми характеризуються найтривалішими періодами ефективного напівочищення від радіонуклідів техногенного походження у порівнянні з іншими екосистемами [16], внаслідок чого ліси залишаються критичними ландшафтами з погляду надходження радіонуклідів по трофічних ланцюжках до людини [3]. При цьому найбільшу кількість радіонуклідів утримують повнопрофільні підстилки хвойних лісів (від 25 до 60% сумарної активності радіонуклідів).

Загальною закономірністю вертикального розподілу у всіх типах ґрунтів є експоненціальне зниження активності радіонуклідів із глибиною, при цьому процеси перерозподілу інтенсивніше відбуваються в багатших і вологіших ґрунтах. У віддалений період після аварії на ЧАЕС,  $^{137}\text{Cs}$  в ґрунтах зустрічається переважно у фіксованій на 80–90% формі, розрахований ефективний період напівочищення лісових ґрунтів, що варіює, за даними цих авторів, від 6–8 до 20–22 років, а за даними інших дослідників — від 20 до 30 років. Для  $^{137}\text{Cs}$  характерне зниження вмісту водорозчинної й обмінної форм у ґрунті, що обумовлює значне зниження кореневого надходження даного радіонукліда в рослини. Після випадіння  $^{137}\text{Cs}$  у всіх шарах ґрунту відбувається досить повільне зменшення його питомої

## РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

активності переважно за рахунок двох процесів – міграції у глибші шари ґрунту та фізичного розпаду радіонукліду [14].

Результати вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у ягодах чорниці демонструють стійку тенденцію до його зменшення приблизно втричі за період (1986–1992 рр.) та більш повільнішу у наступні роки [17]. Для їстівних грибів є практично однотипною динаміка вмісту  $^{137}\text{Cs}$  – збільшення вмісту радіонукліду протягом певного періоду, та поступове зменшення згаданого показника у наступний період, що залежить від різної глибини розміщення міцелію певного виду гриба у ґрунті. Зокрема, за даними радіоекологічного моніторингу в 1999 р., вміст  $^{137}\text{Cs}$  у заготовлених жителями ряду населених пунктів Полісся повітряно-сухих тілах грибів становив у різних видів моховиків  $6,5 \pm 2,0$  МБк/кг; білому грибі –  $0,6 \pm 0,2$  МБк/кг; у свіжих лисичках –  $110 \pm 30$  кБк/кг; у свіжих ягодах чорниці –  $22 \pm 8$  кБк/кг. При рівних щільностях забруднення ґрунту радіонуклідами в різних видів грибів значення коефіцієнтів переходу  $^{137}\text{Cs}$  відрізняється в 10-100 разів (табл. 2) [18].

Таблиця 2.

### Надходження цезію-137 у природних продуктів споживання населенням з лісу

Вид сировини	Коефіцієнт переходу радіонуклідів
Брусниця (ягоди)	13
Чорниці (ягоди)	11
Малина (ягоди)	7
Горобина (ягоди)	1
Калина (ягоди)	0,3
Багно звичайне (пагони)	120
Брусниця (листя)	98
Чорниці (листя)	97
Звіробій (трава)	33
Конвалія (трава)	8
Конвалія (суцвіття)	11
Собача кропива (трава)	4
Спориш (трава)	4
Валеріана (кореневища)	0,4

Джерело: [17].



#### РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

---

Для ягід видів сімейства брусничних, які складають основу ягідних ресурсів в лісових екосистемах Полісся, характерне максимальне накопичення  $^{137}\text{Cs}$  серед всіх ягідних видів в такій послідовності: брусниця>чорниця>голубика [17]. Екологічні умови істотно впливають на коефіцієнт накопичення  $^{137}\text{Cs}$  у ягодах різних видів. Саме це викликає значні коливання питомої активності радіонукліда в ягодах при рівній щільності забруднення ґрунту. Зокрема, значення коефіцієнтів переходу  $^{137}\text{Cs}$  в свіжі ягоди чорниці становить в межах 3,4–16,1; суниці лісової 2,9–10,9; малини звичайної 2,7–8,4. У літературі наводяться дані про наявність 10–50 кратних відмінностей у накопиченні  $^{137}\text{Cs}$  ягодами в автоморфних і гидроморфних лісових ландшафтах. Була проаналізована інтенсивність накопичення радіонуклідів ягідними видами на верхових болотах.

Коефіцієнти переходу радіонуклідів із ґрунту в лукопасовищну рослинність змінюються в межах 0,34–7,33 залежно від типу ґрунту, його різновидів та умов зволоження. На дерново-підзолистому ґрунті цей показник становить: Коростенський район – 0,34–1,38; Луганський – 0,62–0,82; Овруцький – 1,10–1,49, а на торфово-болотному ґрунті (с. Мала Зубівщина Коростенського р-ну) – 7,33, що в 21,5 раза перевищує найменший показник. Аналіз результатів щодо розподілу радіонуклідів за ґрунтовим профілем лукопасовищних та орних земель досліджуваних територій показав, що основна кількість радіоцезію зосереджена в 0–20 см шарі ґрунту.

Показники вмісту радіоцезію в 0–20 см шарі ґрунту становили 69,5–81,0%, в 20–30 см горизонті – 13,3–26,4%, решта радіонуклідів зосереджена в 20 см шарі ґрунту.

У цілому вміст  $^{137}\text{Cs}$  у сільськогосподарській продукції оцінюють як невисокий, проте виявлені випадки, коли рівень забруднення продукції в приватному секторі перевищував ДР–2006. Порівняно з 1990–2001 рр. вміст  $^{137}\text{Cs}$  зріс у продукції тваринництва (зокрема, в молоці та м'ясі), що пояснюється доволі значним підвищенням його вмісту в сні, соломі, силосі та зеленій масі з пасовищ, які є основними видами кормів для великої рогатої худоби [19].

Лісові екосистеми є фітоміграційними радіонуклідними аномаліями, що характеризуються підвищеною інтенсивністю міграції  $^{137}\text{Cs}$  у ґрунтово-рослинному покриві. У екосистемах одночасно відбуваються різнонаправлені процеси міграції тех-

#### РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

---

ногенного  $^{137}\text{Cs}$  – очищення одних (лісова підстилка, чорниці, однорічний приріст деревних порід та ін.) та збільшення забруднення інших (мінеральні шари ґрунту, білий гриб тощо), тому прогнозувати вміст  $^{137}\text{Cs}$  у лісових екосистемах, в тому числі грибах та ягодах потребує постійного спостереження.

Швидкість самоочищення територій від радіоактивного забруднення через ерозійні процеси 0,01–0,1% для  $^{137}\text{Cs}$  залежно від їх запасу в ґрунті щороку. Доведено, що нині вітровий перенос не впливає на вторинне забруднення населених пунктів, а ефективні дози від інгаляції радіонуклідів на 1–3 порядки нижчі, ніж дози зовнішнього опромінення, навіть у процесі проведення польових робіт.

Порівняльна оцінка значущості природних процесів засвідчує, що самоочищення території в результаті процесів дефляції, поверхневого водного стоку, дифузійного і конвективного переносу вглиб ґрунтового профілю впродовж 20 років після забруднення території  $^{137}\text{Cs}$  зумовлює менший внесок у поліпшення радіаційного стану, ніж іммобілізація в результаті фізико-хімічної фіксації ґрунтом і зменшення біологічної доступності їх для рослин.

Місцеве населення активно використовує природні і напівприродні екосистеми: випас в лісах та в заплавах річок великої рогатої худоби приватного сектора. В великих об'ємах населенням збираються їстівні гриби, ягоди і лікарські рослини та відстрілюється дичина, які мають високі рівні радіоактивного забруднення, переважно  $^{137}\text{Cs}$  [14]. Зазначені чинники в умовах радіоактивного забруднення лісів та лук можуть формувати значні додаткові дози внутрішнього опромінювання населення.

Проблема радіоактивного забруднення харчових продуктів лісу і зараз актуальна. Саме з використанням харчових продуктів лісу, в основному грибів і ягід, пов'язані значні дози внутрішнього опромінення населення, що проживає в районах Українського Полісся. В цих багатих на ліси районах доза внутрішнього опромінення, яку отримує сільське населення від харчових продуктів лісу, складає від 35 до 50% дози, отриманої від усіх продуктів харчування [15; 16].

Аналіз вмісту  $^{137}\text{Cs}$  в продуктах харчування групи населення, яка є критичною внаслідок значного споживання харчових продуктів лісу, наочно демонструє, що різниця між максимальним вмістом  $^{137}\text{Cs}$  у нелісових та лісових продуктах ду-

#### РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

же значна. Виявлено, що навіть при порівняно невисокому споживанні лісових продуктів у їжу щодобове надходження  $^{137}\text{Cs}$  в організм представників критичної групи є значним.

Для критичної групи населення внесок головних продуктів харчування (рослинні з присадибних ділянок та тваринні) складає 2–5% від дози внутрішнього опромінення, яку отримує населення цієї групи від споживання усіх харчових продуктів. Продукти ж лісового походження обумовлюють до 90% дози опромінення населення пероральним шляхом, при цьому близько 70% дози обумовлює використання у їжу грибів, а 25–30% ягід чорниці. Характерним є різке зростання дози внутрішнього опромінення населення протягом другої половини липня до другої половини жовтня (з піком у вересні) внаслідок масового вживання грибів [17].

Внесок в дозу опромінювання від продуктів, одержаних із природних екосистем в 1997 р., набагато збільшився в порівнянні з 1987 р., коли він був рівний відповідно 19% для всього населення і 41% для його критичної групи. Є свідчення про те, що тільки гриби обумовлюють у населення від 1,6% до 12,5% дози внутрішнього опромінення (табл. 3) [18; 20].

Таблиця 3.

##### Вміст цезію-137 у грибах та ягодах Бк/кг

Область	Лісові ягоди	Гриби
Житомирська	500–3500	1300–5000
Рівненська	800–8000	5000–32000

Джерело: [17].

Особливо слід підкреслити, що, за даними окремих досліджень, внесок лісових продуктів в дозу внутрішнього опромінення може досягати 90%, що характерне для лісів на торф'яно-болотяних ґрунтах, причому ця величина має тенденцію до зростання внаслідок несприятливого стану економіки і дуже повільного самоочищення лісів від радіонуклідів.

Традиційно в раціоні живлення населення Полісся присутні "дари лісу" у значній кількості. Зокрема в доаварійний період в регіоні однією дорослою людиною споживалося близько 2,3 кг грибів у рік. Гриби і ягоди обумовлюють значну частину дози внутрішнього опромінення населення (табл. 3).

#### РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

---

Аналіз даних літератури дозволяє зробити висновок про те, що внесок харчових продуктів лісу в дозу внутрішнього опромінення населення в цілому складає 66%, а для критичної групи населення – 80%. Повне ж виключення з раціону продуктів лісового походження призводить до різкого зменшення еквівалентної дози внутрішнього опромінення – до 0,56 мЗв/рік.

Після аварії на АЕС вживання в їжу продуктів лісового походження різко скоротилося завдяки роз'яснювальній роботі медиків і гігієністів про небезпеку, пов'язану з уживанням радіоактивно забруднених продуктів харчування. Слід проте відзначити, що місцеве населення, налякане спочатку "радіацією" (як невідомим шкідливим екологічним чинником), скоротило споживання "дарів лісу" у перший післяаварійний період, а потім, в основній своїй масі, повернулося до доаварійного раціону, і навіть використовує гриби і ягоди більш інтенсивно, ніж раніше, внаслідок комплексу соціально-економічних причин. В середньому від 1/3 до 2/3 населення регіону регулярно вживають у їжу "дари лісу" [16].

Проаналізовані результати радіоекологічного моніторингу вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у ягодах і грибах навколо населених пунктів України, віднесених до зони жорсткого радіаційного контролю. Перевищення допустимих рівнів вмісту  $^{137}\text{Cs}$  (ДР-97) у згаданих харчових продуктах лісу відмічені в 15% проб у Волинській області, 80% – у Рівненській, 90% – у Житомирській, 24%. На теперешній час у регіонах Українського Полісся гриби та ягоди, незважаючи на незначну масову та відсоткову долю їх у раціоні, обумовлюють значну частку дози внутрішнього опромінення населення [20].

Проведено аналіз особливостей радіоекологічної обстановки в приватних господарствах Полісся, які характеризуються істотними агроєкологічними особливостями порівняно з колективними й державними підприємствами. Концентрація радіонуклідного забруднення на присадибних ділянках може підвищувати дозові навантаження на споживачів сільськогосподарських продуктів, вироблених у приватних господарствах. Це і зумовило розробку узагальненої балансової моделі міграції радіонуклідів в агроєкосистемі приватних господарств. Розроблено основи радіоекологічної моделі "Приватне се-

#### **РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

---

лянське господарство", яка описує міграцію радіонуклідів в агроєкосистемі цих господарств [21].

Статистичні невизначеності у забрудненні ґрунту та в коефіцієнтах переходу призводять до того, що виміряні значення радіаційного навантаження на населення мають розподіл у доволі широких межах. У населених пунктах Житомирської, Рівненської та Волинської областей близько 30% населення має вміст радіонуклідів в організмі більший за середнє значення цієї величини, що наведено у радіоекологічних паспортах населених пунктів України [21].

Таким чином показано, що радіаційне навантаження на населення у Поліссі визначається радіоекологічною ситуацією в деяких, критичних екосистемах. Для цього регіону це, насамперед, природні кормові угіддя-ви-паси та сіножаті, а також лісові екосистеми, які здатні формувати значні дозові навантаження внаслідок використання забруднених радіонуклідами лісових продуктів: грибів, ягід, дичини. Все це призводить до значного розкиду у значеннях умісту радіонуклідів і в організмі людини. Радіоекологічна ситуація у Поліссі характеризується значними невизначеностями, зокрема, в оцінюванні ступеня ризику проживання населення на радіоактивно забруднених територіях. Близько 30 – 40% населення має радіаційне навантаження більше за середні значення зазначені у довідниках з паспортизації населених пунктів. Важливими причинами цього, на території Полісся, є неоднорідність забруднення ґрунту та строкатість його фізико-хімічних властивостей. При великих значеннях коефіцієнтів переходу радіонуклідів із ґрунту в рослини, невеликі флуктуації в їх абсолютній величині призводять до значних флуктуацій у забрудненості сільськогосподарської продукції, а відтак і в дозовому навантаженні на населення. Однією з причин широкого розподілу радіаційного навантаження ред населення є використання населенням саме критичних екосистем. До значного розкиду у значеннях умісту радіонуклідів, організмі людини призводять також невизначеності структури раціону харчування. Встановлено, що для території Українського Полісся характерним є механізм горизонтального переносу радіоактивного забруднення, зумовлений антропогенною діяльністю – перенос радіоактивності з використовуваних урочищ на присадибні ділянки (сіно-гній) та з лісу за схемою дро-

#### **РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

---

ва–попіл–добрива. Ці процеси переносу радіоактивності, можуть призводити до погіршення радіоекологічної ситуації на присадибних ділянках, тобто врахування взаємодії населення не тільки з агро-, а й з лісовою та прісноводною екосистемами. Механізм переносу радіоактивного забруднення на присадибні ділянки призводить до просторового перерозподілу активності й, відповідно, до збільшення забруднення продукції приватного сектору, що, у свою чергу, призводить до виникнення невідомостей щодо вмісту радіонуклідів в організмі людини та значного розкиду його величин серед населення.

Зниження рівня надходження радіонуклідів до продукції рослинництва на забруднених територіях радіонуклідами залишається актуальним. Вміст радіонуклідів в сільськогосподарській продукції, що вирощується на техногенно – забруднених територіях, є головною ланкою на шляху формування додаткових дозових навантажень на людину. Чорнобильська катастрофа внесла істотні корективи в систему агропромислового виробництва України, проте дотепер часом виробляється сільськогосподарська продукція, в якій вміст радіонуклідів значно перевищує встановлені норми.

Здатність картоплі нагромаджувати радіонукліди в різних кількостях значно залежить від її біологічних особливостей. Це пов'язано з різною тривалістю вегетаційного періоду, характером розподілу кореневої системи в ґрунті, різницею в продуктивності сортів та іншими факторами. Акумуляція рослинами  $^{137}\text{Cs}$  через кореневу систему може різнитись також в залежності від сорту.

Надходження радіонуклідів в рослини істотно залежить і від агрохімічних властивостей ґрунту. Так, поліпшення агрохімічних властивостей ґрунту сприяє зменшенню поглинання радіонуклідів рослинами. Особливо це спостерігається при збільшенні в ґрунтовому розчині обмінних форм іонів. Наприклад, чим більший вміст доступного калію в ґрунті, тим менше надходить цезію в рослини. Таким чином, зменшення вмісту  $^{137}\text{Cs}$  в рослинах можна досягти кількома шляхами: поліпшенням умов мінерального живлення, внесенням іонів-аналогів, переведенням радіонуклідів в необмінний стан.

Добре відомо, що в сухій речовині бульб картоплі вміст мінеральних речовин складає всього біля 4 – 6 % і основна частина серед них приходить на калій. Різниця між вмістом

#### РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

---

калію в бадиллі і бульбї пояснюється тим, що калій відноситься до елементів, які міцно зв'язуються в листках, втрачають рухливість і по рослині з листя не переносяться. Аналогічно до калію веде себе і інший елемент – цезій, радіоактивним ізотопам якого в останній час приділялось багато уваги. Рослини картоплі поглинають з ґрунту  $^{137}\text{Cs}$  майже в таких кількостях, як і більша частина інших рослин, але в бульбї його відповідно менше, ніж в бадиллі. Збільшення норм внесення калію разом з гноєм, сприяють зв'язуванню рухомих форм радіонукліду, які накопичуються в поверхневій рослинній масі. Це говорить про те, що найбільша кількість  $^{137}\text{Cs}$  в картоплі зосереджується в листках та стеблах, найменше в бульбї, причому в м'якуші у 2 – 2,5 рази менше, ніж у шкірці. Таким чином, застосування гною та підвищення норм калійних добрив, а також підбір певних сортів дасть можливість одержати картоплю у 20 – 30 разів чистішу, ніж визначено регламентом [22].

Радіоекологічний моніторинг як складова загального екологічного моніторингу. Головним завданням радіоекологічних досліджень є комплексне оцінювання стану екосистеми, включаючи її дію на людину. Воно реалізується у процесі радіоекологічного моніторингу як складової загального екологічного моніторингу.

Головними завданнями радіоекологічного моніторингу є:

- спостереження та контроль за станом забрудненої радіонуклідами зони, її окремих особливо шкідливих ділянок та пропонування заходів щодо зниження шкідливості;
- моніторинг стану об'єктів природного середовища за одними і тими самими параметрами, які характеризують радіоекологічну ситуацію як у зоні забруднення, так і за її межами;
- виявлення тенденцій до змін природного середовища, спричинених функціонуванням екологічно небезпечних об'єктів і при реалізації заходів, що проводяться на забруднених територіях;
- з'ясування тенденцій до змін стану здоров'я населення, яке проживає на забруднених радіонуклідами територіях;
- інформаційне забезпечення прогнозу радіоекологічної ситуації в забрудненій зоні та країні загалом.

#### **РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

---

Радіологічний моніторинг реалізують у трьох напрямках: базовий (стандартний), кризовий (оперативний), науковий (фоновий).

Базовий радіоекологічний моніторинг здійснюють за допомогою мережі пунктів спостережень, яка охоплює всю територію країни, включаючи служби радіаційного контролю на ядерному виробництві. Система кризового радіологічного моніторингу формується на основі діяльності територіальних служб спостереження і контролю радіоекологічних параметрів навколишнього середовища на територіях, де виникли несприятливі радіологічні ситуації.

Науковий радіоекологічний моніторинг реалізують координуючі структури на базі науково-дослідних закладів (підрозділів НАН України), які розробляють методи та програми радіологічних досліджень. Радіоекологічний моніторинг, який здійснюється у розвинутих країнах, є підсистемою екологічного моніторингу і передбачає спостереження за радіаційною ситуацією та здійснення постійного радіологічного контролювання небезпечних радіаційних об'єктів виробничо-господарської діяльності.

В Україні після катастрофи на ЧАЕС здійснюють радіоекологічний моніторинг основних складових довкілля на різних територіальних рівнях за характерними лише для нашої держави показниками. Так, в зоні забруднення (крім об'єкта «Укриття» та 30-кілометрової зони відчуження) здійснюється радіоекологічний моніторинг у різних напрямках: моніторинг ландшафтно-геологічного середовища з метою отримання базової інформації для оцінювання та прогнозування загальної радіоекологічної ситуації на забруднених радіонуклідами територіях і її впливу на екологічну ситуацію в Україні; моніторинг поверхневих і підземних водних систем; моніторинг природоохоронних заходів та споруд; моніторинг локальних довгочасних джерел реального і потенційного забруднення (об'єкт «Укриття», ставок-охолоджувач, пункти захоронення радіоактивних відходів, пункти тимчасової локалізації радіоактивних відходів); моніторинг біоценозів і заходів щодо використання природних угідь; медичний і санітарно-гігієнічний моніторинги [12].

***Радіоекологія цезію як одного із основних чинників негативного впливу на агробіоценоз.***



#### РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

---

Цезій – елемент першої аналітичної групи в періодичній системі елементів. Більшість його хімічних сполук (нітрати, хлориди, карбонати) розчинні в воді, тому добре всмоктуються в шлунково-кишковому тракті, розносяться по організму і швидко виводяться з нього. З радіоактивних ізотопів цезію найбільш біологічно небезпечні цезій-134 та цезій-137. При розпаді ядер атома цезію-137 випромінюються бета-частини з максимальною енергією 1,46 МеВ і гамма-кванти. Період напіврозпаду складає 30 років (радіоізотоп довгожителів). Період напіврозпаду дочірнього радіоактивного ізотопу барію-137 дорівнює 2 хв. 57 сек. Радіоактивний цезій – продукт поділу ядер важких елементів (урану, плутонію), за ступенем радіотоксичності відноситься до групи В (середньої радіотоксичності). Оцінка по глобальним випадкам складає 5,6% [22].

Продукти ядерного поділу, в тому числі і цезій-137, від місця утворення поширюються у вигляді радіоактивної хмари, що складається з легких речовин і частинок різного розміру (від декількох мікрон до видимих очом), які випадають разом з опадами (дощ, сніг, сухі опади) протягом багатьох років після ядерного вибуху і забруднюють повітря, ґрунт та рослинність.

Одне з основних джерел потрапляння цезію-137 в рослини – ґрунт. Він затримує радіонукліди двома способами. По-перше, нерозчинні в дощовій воді радіоактивні речовини затримуються механічно в дерновому і самому верхньому шарі ґрунту. По-друге, розчинні в воді радіонукліди сорбуються в верхньому шарі ґрунту згідно з законом динаміки сорбції. Верхньому шару ґрунту (0 – 5 см) властива дуже велика сорбційна здатність, так як він багатий на гумус, який має високу іонообмінну ємність поглинання і високу здатність комплексоутворюючого зв'язування радіонуклідів в катіонній та аніонній формах. Цезій в порівнянні зі стронцієм міцно фіксується в ґрунті, і лише 1 % його може перейти у водну витяжку. Тому виноситься цезію з неї рослинами набагато менше ніж стронцію. Ступінь забруднення ґрунту залежить не тільки від кількості річних атмосферних опадів, але і від локальних умов, таких як вид ґрунту, щільність рослинності і агротехнічна обробка ґрунту. Надходження цезію-137 в рослини відбувається в основному двома шляхами: перший – осідання з атмосфери на поверхню листків, стебла і репродуктивних органів; другий – через кореневу систему поглинанням з ґрунтового розчину. В

#### **РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

---

перші роки після радіоактивного забруднення надходження відбувається в основному через наземні частини рослин, а далі переважає “кореневе” надходження радіонукліду. Маючи велику “рухливість”, цезій-137 в порівнянні зі стронцієм-90 більш-менш рівномірно розподіляється по всій рослині. Переробка і підготовка кормів до згодовування можуть значно змінити в них концентрацію радіонуклідів.

В природних умовах цезій-137, як і інші радіонукліди, в організм тварин, в тому числі і птахів, надходить через шлунково-кишковий тракт, органи дихання, пошкоджені і непошкоджені шкіряні покриви. Оральний шлях – основний. Надходження радіонукліду через органи дихання має набагато менше значення, оскільки не всі радіоактивні частинки затримуються в дихальних шляхах, частина їх виводиться при видиханні, частина – зі слизом при кашлі, котра заковтується твариною. Засвоєння цезію-137 відбувається в основному в тонкому кишечнику. Ступінь всмоктування його в шлунково-кишковому тракті доходить до 100 %, так він утворює добре розчинні сполуки. У молодих тварин цезій засвоюється більше, ніж у старих. У тварин з однокамерним шлунком він всмоктується швидше, ніж у тварин з багатокамерним шлунком. Це, очевидно, обумовлено більш швидкою евакуацією хімусу з однокамерного шлунку в кишечник. Відмічена виключно висока швидкість обміну радіоізотопу в ланці кров – органи – тканини. У тварин з багатокамерним шлунком після разового орального надходження максимальна концентрація радіонукліду в крові відмічалась через 12 годин і зберігалась на цьому рівні протягом наступних 12 годин. У тварин з однокамерним шлунком максимум концентрації його в крові настає швидше. Швидке зниження концентрації в крові пояснюється тим, що, з однієї сторони, відбувається інтенсивне включення в органи і тканини, а з іншого – виведення через екскреторні органи або молочну залозу. Характер метаболізму цезія-137 своєрідний, повідний до обміну калію і визначається фізико-хімічними властивостями. Накопичується цезій-137 в основному в м'язах і паренхіматозних органах, менше – в крові, жировій тканині і шкірі. В умовах довгого безперервного надходження з кормами і водою накопичення його в організмі відбувається поступово, а потім настає стан рівноваги, коли щоденне надходження збалансовується виведенням. Так, рів-

#### **РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

---

новажна концентрація радіо цезію в м'яких тканинах у кіз встановлюється приблизно за 10 днів, а у корів – за 30. В м'язах овець накопичення цезію-137 продовжується більше 105 днів, а у внутрішніх органах – 8-18 днів. Величина переходу його в м'ясо у травоядних тварин вища, ніж у всеїдних. При хронічному надходженні радіоцезію у курей рівноважний стан між вмістом його в раціоні і яйці настає через 6 – 7 діб, концентрація в ці строки максимальна і дорівнює 2,3 – 3,3 % добового надходження. Причому концентрація цезію-137 в білку яйця у 2 – 3 рази вища, ніж в жовтку, в шкарлупі – лише 1 – 2% загального вмісту в яйці. Цезій-137, як і інші радіоізотопи, виводиться з організму з калом, сечею, а продуктивних тварин – з молоком, яйцями та іншими шляхами. При однократному оральному надходженні в організм лактуючих корів концентрація його в молоці поступово збільшується в перші 24 години, досягаючи максимального значення через 24 – 48 г, а потім до 6 – 7-го дня поступово знижується. Сумарно за 8 діб з молоком виділяється біля 18 % введеної кількості. В умовах хронічного перорального надходження цезію-137 виділення з 1 літру молока варіює у окремих корів від 0,25 до 0,72 % добового надходження радіонукліду. Швидкість виведення залежить від рівня продуктивності тварин. У високопродуктивних ізотоп виводиться швидше. Так при добовому удої 20 л виводиться до 13 % добового надходження радіоцезію, а при удої 14 л – тільки 8,8 %. Чим більше в раціоні грубих кормів, тим менше виводиться з 1 л молока цезію-137. У корів з молоком зазвичай виводиться 5 – 10 % цезію-137, що надійшов з кормом. Ефективний період напіввиведення по цезію-137 у лактуючих корів складає від 20 до 50 днів, і величина його залежить від рівня продуктивності корови і складу раціону [23].

Важливий об'єкт дослідження при радіохімічному аналізі на вміст цезія-137 – м'ясо різних тварин, в тому числі і птахів. При дослідженні трьох видів м'яса (яловичини, баранини і свинини) найбільша концентрація цього ізотопу зафіксована в баранині; в яловичині в 2 рази, а в свинині в 3 рази його менше, в оленині в 10 разів вище, ніж в м'ясі тварин інших видів. Залежить це від рослинності яку вони їдять, з якою надходить цезій-137. Високий вміст його в оленині обумовлений тим, що олені в зимовий період харчуються мохами та лишайниками, в яких велика концентрація радіоцезію. В літній пері-

#### **РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

---

од концентрація цезію-137 в оленині знижується, так як тварини їдять в основному траву, активність якої за даним радіоізотопом менша, ніж у лишайників. Рівень цезію-137 в організмі тварин залежить також від умов утримання. Тварин годують переважно сіяними травами при стійловому утримуванні, травостоєм природних лугів, які містять більше радіоізотопів. Тому і концентрація їх в м'ясі тварин взимку вища, ніж влітку. Крім того, при пасовищному утриманні збільшується вміст цезію-137 і в молоці.

Радіаційно-гігієнічні нормативи, якими керуються радіологи, виходять з максимально допустимих добових доз надходження радіонуклідів в харчовому раціоні людей. Звідси можна визначити допустиме добове потрапляння радіонуклідів з кормами сільськогосподарським тваринам. Такі норми остаточно не встановлені, але приблизно в добовому раціоні молочної худоби цезію-137 не повинно бути більше 1,3 мкКи, для м'ясної худоби – 0,33, а для овець – 0,175 мкКи. Як виключення, можна допустити трьохкратне перевищення цих норм. Звісно, що будь які зміни норм максимально допустимих добових доз для людини повинні вплинути на зміну цих норм для тварин.

Внаслідок Чорнобильської катастрофи 1986 року в навколишнє середовище потрапила значна кількість радіонуклідів, що призвело до погіршення екологічного стану великих територій України, Білорусії та Росії. В результаті найбільшої аварії на атомній електростанції в навколишнє середовище виділилося 100 МКи, з яких половина припадає на частку ксенона, приблизно 10 МКи – I -131, 1–2 МКи – Cs -137, 0.2 МКи – Sr -90. Через швидкий розпад I – 131 та інших нестійких нуклідів(які в перші часи та дні аварії сформували значну частку дози опромінення),відбулося різке зниження початкового рівня опромінення. Але зараз головну радіоекологічну небезпеку складають радіонукліди з великим періодом напіврозпаду (наприклад, для Pu -239 це біля 24065 років, для Sr -90 -28,6 років, Am -241 -342,2 роки, Cs -137 -30,2 роки). Крім того, що ці радіонукліди є альфа- і бета-випромінювачами, вони є токсичними елементами (одним з найтоксичніших є плутоній - 239) [24].

Радіонукліди, що вийшли за межі станції, потрапили в атмосферу, звідки відбувалося їх осідання на поверхні різного роду: ґрунти, рослинний покрив, поверхні водних басейнів,

#### **РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

---

дороги, т.п.). Радіонукліди, що осіли на поверхню ґрунтів під дією природних факторів, мігрують в горизонтальному і вертикальному напрямках. Головну роль в міграції радіоактивних речовин в геологічному середовищі грають підземні води, забруднення яких було виявлено вже влітку 1986 року. Попадання радіонуклідів в ґрунтові води в багатьох випадках відбувалося аерозольним шляхом через криниці та інші свердловини. Крім того, атмосферні опади, що фільтруються через ґрунти, є постачальниками радіонуклідів в підземні води (цьому сприяють властивості ґрунтів Поліського району України, де відбулася катастрофа). Інтенсивність міграції радіонуклідів істотно збільшується на ділянках експлуатації підземних вод. Радіонукліди, що потрапили в ґрунтові води, рано чи пізно будуть винесені у поверхневі водойми та річок.

Радіонукліди, що активно беруть участь в процесах енергообміну в неживій природі, були включені і в біогеохімічний цикл, який здійснюється в системі трофічних ланцюгів:

- поглинання рослинами, тваринами, мікроорганізмами окремих радіоактивних ізотопів (при цьому відбувається поступове перемішування радіонуклідів з їх ізотопними і неізотопними носіями та включення їх у склад біологічних структур);
- виділення надземними частинами і кореневими системами рослин радіонуклідів у складі окремих сполук, вимивання з листя дощами рухливих радіонуклідів, наприклад, цезію;
- виділення тваринами продуктів, що утворюються в результаті травлення, які поступають в ґрунти в складі нових сполук або як їх домішки;
- відмирання різних органів рослин – листового опаду або рослин, які завершили свій онтогенез;
- розкладання органічних решток мікроорганізмами, що супроводжується включенням радіонуклідів у склад бактеріальної маси або їх переходом в ґрунтовий розчин.

У зовнішньому середовищі міграція ізотопів цезію являє собою складний комплекс процесів [25]. Міграція радіонуклідів у біоценозі залежить від їх фізико-хімічних властивостей, умов навколишнього середовища і біологічних особливостей біоти. Носіями активності при радіаційних аваріях з викидом радіонуклідів в атмосферу є аерозолі. Атмосфера є первинним постачальником радіонуклідів на земну поверхню. Цезій, що на-

#### РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

---

дійшов у навколишнє середовище, активно включається в процеси міграції.

У перші роки після випадіння цезій знаходиться у верхньому 5-10 сантиметровому шарі ґрунту. Його утриманню у ґрунті сприяє неорганічні частки ґрунту та органічні речовини. Сорбція радіонуклідів у ґрунті має подвійне значення для їх міграції в біосфері. По-перше, закріплення їх у верхньому шарі ґрунту забезпечує існування в природі тривало існуючого джерела радіонуклідів для кореневого накопичення рослинами. По-друге, сорбція твердою фазою ґрунту радіонуклідів обмежує їх засвоєння через кореневі системи рослин. Це обумовлює підтримання в наземному середовищі довготривалих процесів накопичення радіонуклідів рослинами з ґрунту [26]. Накопичення радіонуклідів рослинами з ґрунту визначає масштабність включення радіонуклідів у трофічні ланцюги в системі: ґрунт-рослина-людина, ґрунт-рослина-тварина-людина. є найважливішим об'єктом, що піддається з боку Людина при агропромисловому використанні інтенсивно впливає на ґрунт, що змінює накопичення радіонуклідів у ґрунті.

Ґрунти змінюють свої фізико-хімічні властивості, що може бути пов'язано з метеорологічними та кліматичними умовами, а також господарською діяльністю людини. Це впливає на розподіл радіонуклідів між рідкою та твердою фазами ґрунтів.

Основною ланкою більшості харчових ланцюжків рухомості цезію є рослини. Радіонукліди з ґрунту через кореневу систему переходять в стебла, листки, плоди. Найвищі показники переходу цезію з ґрунту в рослини спостерігаються на торф'янисто-болотних ґрунтах Українсько Полісся. Коефіцієнт переходу для картоплі, зерна, помідорів, огірків сягає  $4,8 \cdot 10^{-9}$ ;  $1,2 \sim 2 \cdot 10^{-11}$ ;  $6 \cdot 10^{-12}$ ;  $1 \sim 4 \cdot 10^{-12}$ ; (Бк/кг)/(Бк/км<sup>2</sup>) відповідно [25]. Перехід цезію в багаторічні трави на природних угіддях вищий ніж на орних землях.

Основним джерелом надходження радіоцезію до людини є продукти харчування рослинного та тваринного походження. Радіоактивний цезій надходить до організму тварин із забрудненим радіонуклідом кормом [11; 20].

Радіоактивний цезій у значних кількостях міститься в молоці лактуючих тварин. Максимальна концентрація нукліду в молоці корів дорівнює 0,2~0,3% від кількості, що надійшла до організму тварини, а при тривалому його надходженні до ор-

## РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

---

ганізму корів вміст нукліду сягав 0,8~1,2% у 1 літрі молока від щоденного надходження. У курей вміст цезію в яйцях досягає 2,3 ~4,3 % від добового надходження. Коефіцієнт накопичення радіонукліду в м'язах риб сягає 1000 і більше, водяних рослинах – 100~10000 [18].

Надходження цезію до організму людини залежить від особливостей харчування. Реєструють підвищений вмістрдіоцезію у осіб, що споживають у великих кількостях харчові продукти з забруднених радіонуклідами лісів (гриби, ягоди, лікарські рослини, м'ясо дичини). Дози опромінення таких осіб у 5–10 разів перевищують середню дозу мешканців населеного пункту вцілому.

Доведено, що радіонукліди цезію добре засвоюються організмом при будь-якому надходження його до організму і становить майже 100%. Потрапивши в кров, цезій швидко розподіляється по органам та тканинах. Вид тварин не впливають на особливості розподілу в органах та тканинах. Ефективний період напіввиведення цезію з організму для мишей – 2 доби, для щурів – 8 діб, для людини – 105 діб. Експериментальні дослідження показали, що цезій легко проникає в плаценту в організм плоду. При одноразовому надходженні виведення цезію здійснюється в основному через нирки, а при хронічному надходженні його вміст у нирках і печінці значно більший ніж у м'язах [26].

До непухлинних віддалених наслідків слід віднести склеротичними змінами органів депонування, суттєвим скороченням тривалості життя та цирозу печінки. При введенні великих активностей цезію у щурів спостерігали гостру променеви хворобу. У віддалені терміни у тварин, що вижили, спостерігали запальні процеси в легенях шлунково кишковому тракті, анемія, облісіння. При невеликих дозах у віддалений період спостерігається лейкемія та виникали онкологічні захворювання різної локалізації.

### ***Перспективи використання радіаційно уражених агробіоценозів.***

До розв'язання багатьох чорнобильських проблем людство виявилось не готовим. Зокрема до того, як утримувати і використовувати забруднені радіонуклідами землі, особливо там, де живуть люди. Саме тому науковці й сьогодні, через більш ніж

## **РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

---

35 років після катастрофи, обговорюють можливі варіанти розв'язання цих проблем.

Перед вченими НАН України проблеми Чорнобильської АЕС постали задовго до катастрофи – ще на стадії розробки проектних рішень щодо будівництва електростанції. Вже тоді науковці доводили, що небезпечно споруджувати АЕС поблизу Києва, нагадували про нестабільність у геологічному аспекті чорнобильської платформи. Однак ці застереження були проігноровані. Результат – жахлива катастрофа і численні постчорнобильські проблеми, зокрема ті, які стосуються раціонального використання і утримання забруднених радіонуклідами земель.

Внаслідок Чорнобильської катастрофи сталося стійке забруднення ґрунтів, рослин і природних вод радіонуклідами цезію, стронцію, плутонію та інших, у тому числі трансуранових, елементів. Велика кількість людей на цих територіях зазнала радіоактивного опромінення у різних дозах. У перші роки після аварії із сільськогосподарського обігу було вилучено 101,2 тис. га земель, розташованих у Київській (29,3 тис.) і Житомирській (71,9 тис.) областях. Загалом площа радіаційно небезпечних територій перевищує 5 млн га. На них мешкає понад 2,5 млн осіб, які займалися та й зараз займаються переважно сільським або лісовим господарством. Тим часом тут у ґрунтах і до катастрофи не вистачало життєво важливих мікроелементів. Тепер же традиційне сільськогосподарське виробництво на цих землях взагалі втратило свій сенс, бо отримувані продукти рослинництва і тваринництва не придатні до споживання через радіоактивне забруднення. Як наслідок – виникло вимушене безробіття у регіоні, де люди найбільш вразливі до дії іонізуючого випромінювання.

Таким чином, проблема використання уражених земель має дві складові: з одного боку, йдеться про протирадіаційний захист людей, з другого – про забезпечення робочими місцями працездатного населення. Отже, потрібні масштабні дослідження. Необхідно вивчити склад радіонуклідів та їхню поведінку в різних ґрунтах (вертикальне і горизонтальне пересування, швидкість міграції), здатність утворювати різні сполуки з хімічними складниками ґрунту, міграцію радіоактивності до ґрунтових вод і біоти та багато чого іншого. І все це слід робити швидко, оскільки не можна зволікати зі здійсненням захо-



## РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

---

дів, які зменшують дозове навантаження на населення. Саме тому вироблення наукових засад раціонального використання уражених земель перетворилося на одну з найскладніших і найважливіших чорнобильських проблем, для розв'язання яких в Україні сформувалася досить розвинена інфраструктура спеціалізованих наукових установ, міністерств і відомств.

За роки, що минули після катастрофи, вчені та фахівці різних галузей провели велику роботу, завдяки чому вдалося отримати важливі наукові результати щодо мінімізації радіаційної небезпеки й поширення радіонуклідів, зменшення доз опромінення людей, впливу ґрунтових умов на рівень забруднення, розробки методів безпечного землекористування. Накопичено певний досвід практичної реалізації цих результатів. Зокрема, визначено принципи реабілітації забруднених територій, які базуються на пріоритетності здоров'я людини, а також на соціально-економічній зваженості та обґрунтованості застосовуваних заходів. Це означає, по-перше, що будь-яка діяльність у ході реабілітації можлива лише за умови гарантії захисту здоров'я людини, по-друге, що потрібна комплексність, тобто одночасне вирішення питань стосовно правового захисту, дотримання санітарно- та радіаційно-гігієнічних, соціально-економічних, природоохоронних і т. п. норм, а також послідовність із забезпеченням «зворотного» зв'язку на кожному з етапів реабілітації тощо. Водночас з проведенням попереднього, а згодом детальнішого обстеження радіаційного стану навколишнього середовища і відповідного картування був організований моніторинг ґрунтів, за результатами якого визначено розміри уражених територій, досліджено склад і ступінь їх радіонуклідного забруднення [19].

Оскільки сумарна доза радіації, викинутої з аварійного реактора у навколишнє середовище, становила понад  $1,2 \times 10^{19}$  Бк, включаючи  $7 \times 10^{18}$  Бк радіоактивних ізотопів інертних газів, ступінь забруднення ґрунтів, рослинності і природних вод виявився настільки високим, що традиційне природокористування стало небезпечним.

Доведено, що потік радіонуклідів з ґрунту в рослини (з чим пов'язане формування дозового навантаження на населення) залежить від процесів фіксації радіонуклідів ґрунтово-поглинальним комплексом, кислотності ґрунтового розчину, а також від особливостей ґрунту, які визначають рухливість і

#### **РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

---

можливість засвоєння нуклідів кореневою системою рослин. Вивчено поведінку дозотвірних радіонуклідів цезію і стронцію у паливних частинках чорнобильського викиду, розроблено динамічні моделі їхньої поведінки у ґрунтах, що уможливило створення прогнозу змін радіаційного стану на майбутнє. Також досліджено фізико-хімічні форми радіоактивних випадань та їх трансформування у ґрунті, динаміку мобільних форм нуклідів і вертикального їх перенесення у ґрунтах та в ланцюгу ґрунт-рослина, визначено кількісні характеристики динаміки вмісту мобільних форм. Особливу увагу приділено вивченню накопичення рослинами радіонуклідів.

З'ясовано, що радіаційний стан уражених територій визначається не тільки щільністю їх забруднення, а й, значно більшою мірою, ландшафтно-екологічними умовами. Тому за однакової щільності забруднення вміст радіонуклідів у сільськогосподарській продукції подекуди різниться у 100 і більше разів. У зв'язку з цим доза зовнішнього та внутрішнього опромінення людини на таких територіях теж іноді змінюється у діапазоні від 20 до 100 разів. Показано, що реабілітаційні процеси при цьому можуть, з одного боку, очищати забруднені землі, а з другого – додатково забруднювати території у зоні стоків. Йдеться переважно про природно-кліматичну зону Українського Полісся і частково Лісостеп, для яких характерні перезволожені ландшафти з високим вмістом органічних речовин, низьким вмістом глинистих мінералів і кислою реакцією ґрунтового розчину (заплави, ліси, природні та окультурені луково-пасовищні угіддя, торфові, торфово-глейові, торфово-болотяні, болотні та інші ґрунти). Саме на цих ґрунтах значення коефіцієнтів переходу нуклідів у рослини істотно вищі порівняно з орними землями, тому навіть за відносно низьких щільностей забруднень тут отримують не придатну для споживання продукцію [16].

Встановлено відмінності у накопиченні радіоактивних цезію і стронцію різними сортами рослин та опрацьовано ланки сівозмін, за яких досягається послаблення або посилення виносу радіонуклідів сільськогосподарськими культурами. Розроблено конкретні технології реабілітації забруднених земель, застосування яких сприяє або підвищенню, або зменшенню рухливості нуклідів у ґрунті залежно від виду і ступеня забруднень, різновидів ґрунтів і рослин, у тому числі сільськогоспо-

#### **РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

---

дарських культур. Крім того, запропоновано інші контрзаходи: механічні – з використанням спеціальних машин; агрохімічні; спеціалізовані меліоративні системи; задерніння відкритих поверхонь багаторічними травами; зачогарення; заліснення; добір певних поєднань рослин для забруднених земель – оптимально придатних сортів сільгоспкультур і багаторічних трав, деревних та чагарникових порід тощо.

Частина запропонованих контрзаходів уже впроваджується. Йдеться про спеціальні технології рекультивації забруднених земель: обробіток ґрунту, внесення вапнякових матеріалів і мінеральних добрив у нетрадиційних співвідношеннях і дозах тощо. При цьому слід враховувати, що використання місцевих вапняків і глин із сорбційною здатністю уможливає проведення маловитратних контрзаходів.

Розробляються геоінформаційні технології, котрі дадуть змогу зберігати інформацію про властивості агроландшафтів та їх екосистем і обирати оптимальні технології, використання яких збільшуватиме радіаційну безпеку. Вчені опрацьовують автоматизовану систему агроекологічного моніторингу та способи паспортизації забруднених земель з урахуванням результатів комплексного обстеження ґрунтового-агрохімічного, агрофізичного та мікробіологічного стану, а також забрудненості ґрунтового покриву радіонуклідами, важкими металами, пестицидами, пально-мастильними матеріалами тощо. Це вкрай важливо з огляду на можливість синергічних взаємодій радіації і забруднювачів хімічної природи. Запропоновано методи фізико-хімічного моделювання, які дають можливість з'ясувати параметри геохімічних процесів трансформації та міграції нуклідів у ґрунті у зв'язку з прогнозуванням їх надходження у рослини через кореневу систему. Статистично визначено відмінності за вмістом, накопиченням і переходом у першій ланці трофічного ланцюга ґрунт-рослина нуклідів і хімічних елементів у різних ландшафтно-геохімічних таксонах на території забруднених радіонуклідами областей України.

Велика увага приділяється медичним аспектам проблеми. При цьому дослідники виходять з того, що дію малих доз іонізуючого випромінювання, яке отримує населення на забрудненій території, необхідно зменшувати в міру наявних можливостей навіть за відносно невеликого радіонуклідного забруднення навколишнього середовища. Саме такий підхід диктує

#### **РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

---

принцип ALARA (as low as reasonably achievable (англ.) настільки низький, наскільки цього виправдано можна досягти). Тобто експозиція при опроміненні має бути на мінімальному практично досяжному рівні.

Узагальнення даних, отриманих під час дослідження медичних наслідків атомного бомбардування Хіросіми і Нагасакі, а також стану здоров'я населення, яке зазнало дії радіації в Україні, однозначно свідчить, що малі рівні опромінення за їх тривалої дії призводять до виснаження імунної системи, радіаційного канцерогенезу, генетичних змін тощо. А це стає причиною розвитку багатьох хронічних захворювань [9].

Оскільки за роки, що минули після Чорнобильської аварії, населення вже одержало до 80% очікуваної дози, яка безперервно кумулюється, слід і далі докладати максимум зусиль для обмеження його опромінення. Інакше кажучи, важливо всіляко зменшувати поточне дозове навантаження і водночас гальмувати різними методами профілактики вплив уже акумульованої дози. Вагомим чинником зменшення поточного дозового навантаження на населення є вживання продуктів харчування з якомога нижчим вмістом нуклідів. І це обов'язково слід враховувати, виробляючи сільськогосподарську продукцію на забруднених землях.

Отримані дані вже дають змогу контролювати ситуацію на уражених землях, а також рекомендувати низку заходів для поліпшення радіологічного стану на забруднених територіях. Саме такі рекомендації містять вже оприлюднені «Програма реабілітації земель зони безумовного (обов'язкового) відселення Київської та Житомирської областей на період з 1998 по 2005 рр.», «Методика реабілітації земель зони безумовного (обов'язкового) відселення Київської та Житомирської областей», «Рекомендації по реалізації обласної програми мінімізації наслідків аварії на ЧАЕС в Житомирській області», «Концепція ведення агропромислового виробництва на забруднених територіях та їх комплексної реабілітації на період 2000 – 2010 рр.» тощо.

У сучасних економічних умовах, коли спостерігається стійка тенденція до зменшення обсягів державних асигнувань, особливо важливим є застосування такої стратегії, яка б дала змогу досягти поставленої мети у найоптимальніший спосіб з максимальним використанням місцевих ресурсів і економічно

#### **РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

---

виправданим вкладанням коштів у заходи, спрямовані на реабілітацію уражених територій.

Звичайно, підходи до раціонального використання та утримання земель різного ступеня забруднення не можуть бути однаковими. Слід враховувати особливості різних ґрунтів щодо здатності утримувати радіонукліди, диференційовано підходити до відновлення або вдосконалення форм агропромислової діяльності за допомогою комплексного радіоекологічного моніторингу, система якого сьогодні вже досить відпрацьована. Важливо також враховувати наявність значних неоднорідностей у перерозподілі нуклідів по територіях (у тому числі населених пунктів і навіть присадибних ділянок). Оскільки такі неоднорідності практично не прогнозуються, їх можна виявляти шляхом спеціальної радіаційної зйомки.

В Україні останнім часом внаслідок економічних труднощів частина сільськогосподарських угідь, навіть не забруднених радіонуклідами, не оброблялася. Тому потрібна економічно виправдана програма їх використання для забезпечення жителів забруднених районів «чистими» продуктами харчування з паралельною заборонаю споживати місцеві продукти. Правда, доводиться зважати на схильність людей отримувати їх на власних ділянках, що може звести нанівець цю заборону. До того ж припинення природокористування на таких територіях може загострити проблему зайнятості населення. Отже, необхідно враховувати тут найменші нюанси.

Беручи до уваги всі аспекти порушеної проблеми, можна констатувати, що сьогодні існують два шляхи науково обґрунтованого, відносно безпечного використання радіаційно уражених земель. Перший – це комплексні заходи з їх реабілітації, здатні зменшити нагромадження радіонуклідів у системі ландшафтів. Другий – пошук і використання технологій сільсько-господарського виробництва, за яких можна отримувати продукцію, що не містить радіонуклідів і, отже, не становить загрози для здоров'я людини.

Як показали дослідження, до сучасних реабілітаційних технологій належить внесення меліорантів-сорбентів з великою ємністю катіонного обміну (цеоліти, вермикуліти, кліноптилоліти, мінерали групи гідроліти, монтморилоніт та ін.), а також хімічних меліорантів (вапно, доломітове борошно тощо), здатних змінювати ґрунтово-хімічні умови [13; 27]. Вони

## РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

---

сприяють зв'язуванню радіонуклідів у твердій фазі з ґрунтом за певним механізмом (іонообмінна сорбція, «фіксування», співосадження з гідроксидами і/або карбонатами макроелементів і т. д.), зниженню концентрації радіонуклідів у ґрунтового розчині та певному обмеженню їх надходження у рослини.

Високою ефективністю характеризуються також традиційні агрохімічні методи – внесення мінеральних фосфорних, калійних та органічних добрив і мікродобрив, які сприяють зменшенню коефіцієнтів переходу радіонуклідів у рослинну біомасу. Переведення радіонуклідів з вільного стану у зв'язаний за допомогою внесених меліорантів, а також гальмування їх всмоктування добривами на тривалий час обмежує формування радіоактивної рослинної біомаси, що зменшує внутрішнє опромінення людини [5].

### **Література до розділу 4:**

1. Михайлов А.В., Лось И.П., Богданов Г.О. Результаты оценки парциального вклада отдельных продуктов питания в дозу внутреннего облучения сельского населения Полесья в замкнутом крестьянском хозяйстве. *Наука—Чернобыль-97*: Сб. тез. Науч.-практ. конф., 11–12 февраля 1998г. –К., 1998. –С. 128.

2. Перевозніков О.М., Василенко В.В., Задорожна Г.М. та ін. Підсумок 20-річного моніторингу внутрішнього опромінення мешканців радіаційно забруднених територій та учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2009. Вип. 12. С. 84 – 89.

3. Чоботько Г.М. Критичні екосистеми території Українського Полісся та їх значення у формуванні дозових навантажень для населення. *Радіоекологія-2013. Чорнобиль-Фукусфма. Наслідки*: Матеріали науково-практичної конференції в рамках міжнародного форуму «Довкілля України», м. Київ, 25–27 квітня 2013 р. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2013. С. 68 – 72.

4. Дутов О.І., Чоботько Г.М., Кучма М.Д. та ін. Основні чинники формування доз опромінення населення Українського Полісся у віддалений період після аварії на ЧАЕС. *Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві*: Матеріали Міжнародної науково-

#### РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

---

практичної конференції (м. Київ, 25-26 вересня 2013 р.). К.: ДІА, 2013. С. 60-64.

5. Пристер Б.С., Лоцилов Н.А., Немец, О.Ф. и др. Основы сельскохозяйственной радиозологии. К.: Урожай, 1991. 383 с.

6. Semioshkina N., Proehl O., Savinkov A.,G. Voigt The transfer of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  from feed to rabbits". *Journal of environmental radioactivity*. 2007. Vol. 98(1-2). P. 166–176.

7. Михайлов А.В., Лось И.П., Богданов Г.О. Результаты оценки парциального вклада отдельных продуктов питания в дозу внутреннего облучения сельского населения Полесья в замкнутом крестьянском хозяйстве. *Наука—Чернобыль-97: Сб. тез. Науч.-практ. конф., 11–12 февраля 1998г. К., 1998. С. 128.*

8. Чоботько Г.М. Особливості радіоекологічної ситуації зони радіоекологічного контролю українського Полісся у віддалений період після аварії на ЧАЕС та їхнє значення у формуванні дозових навантажень на населення. *XXI щорічна Наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України: Тези доповідей.* (м. Київ, 27-31 січня 2014 р.). К., 2014. С. 192–193.

9. Степанова Є. І., Чоботько Г. М., Колпаков І. Є.. Деякі аспекти дозиметричної характеристики та особливості внутрішньоклітинного метаболізму дітей - мешканців радіоактивно забруднених територій. *Агроекологічний журнал*. 2013. № 1. С. 22–27.

10. Липська А.І., Серкіз Я.І., Чоботько Г.М. Канцерогенна ефективність радіонуклідів чорнобильського викиду. *Радіобіологічні ефекти: ризики, мінімізація прогноз: Матеріали Міжнар. конф.* (Київ, 22- 24 березня 2005 р). К., 2005. С. 58.

11. Чоботько Г.М., Райчук Л.А. Особливості забруднення та міграції радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  у лісовій екосистемі у віддалений період після аварії на ЧАЕС. *XX щорічна Наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України: Тези доповідей.* (м. Київ, 28 січня – 01 лютого 201 р.). К., 2013. С. 193–194.

12. Перевозников О.Н., Нечаев С.Ю., Рубель Н.Ф. Итоги многолетнего мониторинга содержания  $^{137}\text{Cs}$  в организме у населения, проживающего на территориях, радиоактивно загрязненных вследствие Чернобыльской аварии. *Международ-*

#### РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

---

ный журнал радиационной медицины. 2002. Т.4, № 1– 4. С. 120– 127.

13. Орлов А.А., Краснов В.П., Прищепа А.А. Радиоактивно загрязненные леса, как критические ландшафты: радиоактивность пищевых продуктов и влияние на формирование дозы внутреннего облучения населения (аналитический обзор). Житомир: ЖИТИ, 2002. 104 с.

14. П'ятнадцять років Чорнобильської катастрофи. Досвід подолання. *Національна доповідь України*. К., 2001. 144 с.

15. Орлов О.О. Радіаційна обстановка та її динаміка в лісових екосистемах Поліського природного заповідника в період квазірівноваги радіонуклідів у ґрунтово-рослинному покриві. (1991—1999 рр.). *Поліському природному заповіднику – 30 років*. Зб. наук. праць. Житомир, 1999. Вип.1. С. 116–129

16. Чоботько Г.М., Райчук Л.А. Формування та прогноз дози внутрішнього опромінення населення Українського Полісся внаслідок вживання харчових продуктів лісового походження. *Радіоекологія-2013. Чорнобиль-Фукусфма. Наслідки: Матеріали науково-практичної конференції в рамках міжнародного форуму «Довкілля України»* (м. Київ, 25–27 квітня 2013 р.). Житомир, Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2013. С. 87 – 90

17. Краснов В.П., Орлов А.А. Перспективы использования ягодных ресурсов Украинского Полесья после аварии на Чернобыльской АЭС // Труды 1 Всеросс. конф. по ботан. ресурсоведению. –Спб., 1996. –С. 47.

18. Орлов О.О., Ірклієнко С.П., Краснов В.П та ін. Закономірності накопичення  $^{137}\text{Cs}$  дикорослими грибами та ягодами в Поліссі України. *Гігієна населених мест*. 2000. Вып. 36. Часть I. С. 431 – 445.

19. Каліненко Л.В., Перепелятнікова Л.В. Санітарно-гігієнічний контроль як один із факторів забезпечення захисту населення, що мешкає на техногенно забруднених територіях. *Агроекологічний журнал*. 2008. С. 85 – 87.

20. Орлов А.А., Краснов В.П., Прищепа А.А. Радиоактивно загрязненные леса, как критические ландшафты: радиоактивность пищевых продуктов и влияние на формирование дозы внутреннего облучения населения (аналитический обзор). Житомир: ЖИТИ, 2002. 104 с.



#### **РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ФОРМУВАННІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ**

---

21. Ясковець І.І., Кутлахметов Ю.О., Кутлахметов В.О. та ін. Параметри критичних екосистем на території Українського Полісся. *Агроекологічний журнал*. 2008. №1. С. 18 – 21.

22. Василенко І.Я., Василенко О.І. Радиоактивный цезий. *Энергия: экономика, техника, экология*. 2004. №1. С. 60 – 63.

23. Моисеев И.Т., Агапкина Г.И., Рерих Л.А. Изучение поведения  $^{137}\text{Cs}$  в почвах и его поступление в сельскохозяйственные культуры в зависимости от различных факторов. *Агрохимия*. 1994. №2. С. 103 – 118.

24. Василенко І.Я., Василенко О.К. Радиация и человек. *Проблемы глобальной безопасности*. 2002. № 6. С. 13– 16.

25. Бобовникова Ц.И., Фирсенко Е.П. Химические формы нахождения долгоживущих радионуклидов и их изменение в почвах вблизи Чернобыльской АЭС. *Почвоведение*. 2003. № 23. С. 52 – 57.

26. Липська А.І. Дрозд І.П. Кінетика Cs в організмі лабораторних щурів та методи розрахунку доз внутрішнього опромінення. *Проблеми Чорнобильської зони відчуження*. 2007. Вип. 9. С. 87–96.

27. Фурдичко О.І., Кучма М.Д. Реабілітація – стратегічний напрям управління радіоактивно забрудненими територіями. *Агроекологічний журнал*. 2008. №1. С. 5 – 12.

---

## РОЗДІЛ 5.

### БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

*Бородай В.В., Косовська Н.А., Ліщук А.М.,  
Карачинська Н.В., Яковенко Д.О.*

**Ключові слова:** екологічна та біологічна безпека; біоре-  
медіація, ґрунтовий мікробіом; агроєкосистеми; біологічного  
забруднення агроценозів; біоценотичні методи; залишки пест-  
тицидів, біопрепарати

Екологічна та біологічна безпека, особливо в умовах во-  
єнного стану в Україні, є важливою складовою національної  
безпеки України. «Здоров'я навколишнього середовища», тобто  
здатність біологічної системи підтримувати і забезпечувати  
функціонування тварин і рослин, якість води, ґрунту та повіт-  
ря, а також здоров'я людей, тварин і рослин у певних просто-  
рових межах є надзвичайно важливими і пріоритетними за-  
вданнями.

Розуміння різноманітності, динаміки та важливості ґрун-  
тових мікробних спільнот у фундаментальних процесах та у  
підвищенні продуктивності сільського господарства, дозволять  
забезпечити стабільність агроєкосистем. Виявлення механізмів  
стійкості агроценозів, структура та функціонування яких, як в  
умовах воєнного стану, так і за умов стабільного природного  
середовища, можуть змінюватися, є надзвичайно актуальним  
насьогодні в Україні.

Останніми роками провідні дослідники відзначають  
значні зміни видового складу, посилення агресивності і віру-  
лентності, адаптивності і екологічної пластичності збудників  
хвороб рослин [1-3]. Поширення та розвиток основних збудни-  
ків хвороб є чинник біологічного забруднення агроценозів ку-  
льтурних рослин в Україні [4]. Спостерігається зменшення чи-  
сельності еколого-трофічних груп мікроорганізмів і значною  
мірою змінюється співвідношення між ними, внаслідок чого  
відбувається порушення функціонального зв'язку в агроєкоси-  
стемах, зниження біологічної активності ґрунту. Пригнічення  
автохтонної корисної мікробіоти часто супроводжується збі-  
льшенням чисельності фітопатогенних видів мікроорганізмів,  
що спричиняють розвиток небезпечних хвороб рослин. Конце-

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

пція фітосанітарної оптимізації агроєкосистем базується на принципах максимальної активізації біоценотичних методів регуляції чисельності популяцій шкідливих організмів на основі широкого використання природних ресурсів [4].

Ці процеси зумовлено зростанням обсягів імпорту неякісного садивного матеріалу, глобальними та регіональними змінами параметрів кліматичної системи, значною кількістю латентної інфекції. Зниження продуктивності сільськогосподарських культур вказує на втрату стабільності агроєкосистеми, що є наслідком порушення фізико-хімічних властивостей ґрунту, збалансованості біохімічних процесів, фітотоксичної активності мікробних ценозів ґрунту.

Наслідки кліматичних змін обумовлюють зміни поширення шкідливих і корисних мікроорганізмів, їх біоекологічних властивостей, взаємодію з іншими рослинами. Дослідження цих наслідків має велике значення для розроблення науково обґрунтованих систем біологічного захисту рослин і поліпшення родючості ґрунтів.

Зміни агрокліматичних чинників внаслідок дедалі більшого антропогенного навантаження, впливають на біорізноманіття агроєкосистем, фізіологічні особливості росту й розвитку культурних рослин, резистентність збудників хвороб.

Для підвищення продуктивності і стійкості сільськогосподарських культур у екологічно збалансованому землеробстві перспективним є використання біологічних препаратів на основі агрономічно цінних мікроорганізмів (наприклад, рістстимулюючих бактерій групи RGPB), здатних індукувати стійкість рослин.

Теоретичним обґрунтуванням використання бактерій групи RGPB є їх значна питома вага у складі мікрофлори ризосфери рослин, антагонізм до широкого кола патогенів, синтез фізіологічно активних речовин, що визначають корисність їх дії, довготривала ефективність, що зберігається і після завершення вегетації, невелика цільова концентрація, ефективність як елементу екологічно безпечних технологій.

Мікробіом ґрунту є одним із фундаментальних компонентів в утворенні рослинної біомаси та здоров'я рослин. Як цілеспрямоване, так і нецільове управління ґрунтовими мікробними спільнотами є перспективним для сталого підвищення

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

врожайності сільськогосподарських культур, їх якості та безпеки.

У зв'язку з цим розуміння механізмів біоремедіації ґрунтів, застосування біопрепаратів для покращення функціонування ґрунтового мікробіому забезпечить підвищення екологічної та біологічної безпеки в Україні, вирішення яких неможливо без належної уваги до природних мікробних систем.

***Використання стійких до забруднювачів мікроорганізмів у підвищенні здатності рослин до фіторемедіації.***

Зазвичай, методи біоремедіації із використанням мікроорганізмів, мають прямі механізми, які передусім включають активацію природної мікробіоти ґрунту, що здатна трансформувати забруднювачі (важкі метали, нафта, пестициди) або внесення ефективних ізолятів мікроорганізмів у забруднений ґрунт. До опосередкованих механізмів належить підвищення здатності рослин до фіторемедіації.

Глобальна зміна клімату посилює негативний вплив кліматичних факторів (зокрема, посухи, солоності та екстремальних температур) на розвиток і здатність до накопичення металів рослинами-ремедіаторами. Прямий (наприклад, конкуренція іонів) або непрямий (наприклад, зміна фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунту) вплив зміни клімату на біодоступність металів в ґрунті може перешкоджати адаптації рослин, роблячи їх більш сприйнятливими до стресів і таким чином обмежуючи широке застосування фіторемедіації [5]. Підвищенню здатності рослин до фіторемедіації сприяють стійкі до забруднювачів штами.

З літературних джерел відомо, що група стійких до металів RGPB, таких як *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Burkholderia*, *Klebsiella*, *Alcaligenes*, *Serratia*, *Rhizobium* і *Enterobacter*, має великий потенціал для сприяння росту рослин в середовищах, забруднених металами [6; 7]. Під час процесів біоремедіації мікроорганізми використовують пестициди як косубстрати у своїх метаболічних реакціях разом з іншими поживними речовинами, таким чином усуваючи їх із навколишнього середовища. Ефективність цих процесів залежить від характеристик пестицидів, таких як їх розподіл, біодоступність і стійкість у ґрунті. Необхідно сприяти доступності пестицидів для мікроор-

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

рганізмів: на це негативно впливає адгезія пестицидів до частинок ґрунту та їх низька розчинність у вод. Крім того, характеристики ґрунту та умови навколишнього середовища, такі як рН, вміст води, мікробне різноманіття та температура, впливають на ефективність біоремедіації.

Важкі метали, потрапивши в ґрунт, накопичуються переважно в частинах, де агрегуються корені рослин і у легкодоступних для рослин формах. Вони поглинаються рослинами, таким чином, зрештою потрапляючи в харчовий ланцюг. Мікроорганізми використовують різні види пов'язаних механізмів до резистентності та детоксикації важких металів [8].

Оскільки ризосфера є середовищем високої мікробної активності, слід враховувати вплив мікроорганізмів на процеси мобілізації/імобілізації чи деградації органічних забруднень. Органічні забруднювачі можуть піддаватися ферментативному впливу та мікробіологічному розкладу. Інтенсифікація сільського господарства мала довгостроковий шкідливий вплив і призвела до збільшення концентрації важких металів у ґрунті. Під впливом важких металів істотно змінюється склад продукованих мікроорганізмами екзометаболітів. Дуже часто це виявляється у синтезі речовин, які є шкідливими для вищих рослин та стають причиною токсикозу ґрунту. Так, наприклад, показано, що під впливом сполук Pb у дерново-підзолистому легкосуглинистому ґрунті під культурами гороху та вівса відбувалися зміни метаболічних процесів у грибів роду *Alternaria*, що сприяло утворенню токсичних для рослин сполук [9].

Взаємодія рослин із ґрунтовими мікроорганізмами відіграє важливу роль в стійкості рослин, наприклад за рахунок зменшення біодоступності металів в ґрунті за допомогою різних механізмів. Так, гени, що належать родині транспортерів МАТЕ, які кодують транспортні білки цитрата, активують виділення органічних кислот кореневою системою. Виділення бурштинової, яблучної, лимонної та деяких інших кислот та їх похідних (малата, цитрата, оксалату, сукцинату), які хелатують алюміній у кореневій зоні ґрунту, є ефективним механізмом стійкості багатьох культур. Органічні кислоти та їх похідні, що виділяються корінням рослин, видоспецифічні [10].

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

Біоаккумуляція міді, кадмію та нікелю була виявлена у стрептоміцетах, групі грамозитивних бактерій, що домінують на бідних ґрунтах з високим вмістом важких металів. Крім того, була перевірена здатність мікроміцетів, у тому числі ектомікоризних грибів, до біоаккумуляції важких металів. Це пов'язано із здатністю важких металів зберігатися у вигляді фосфатних солей у вакуолі клітин грибів. В умовах стресу, таких як посуха, забруднення важкими металами або дефіцит поживних речовин, ВАМ забезпечує рослини водою та поживними речовинами і діє як біофільтр для важких металів, сприяючи росту рослин [11].

Забруднення ґрунту залишками пестицидів стає все більшою проблемою екологічного захисту. На основі концепції оцінки екологічного ризику для оцінки екологічна здатність ґрунту ЕЗГ залишків пестицидів у сільськогосподарських ґрунтах було запропоновано модифіковану систему пропускнуої здатності навколишнього середовища [12].

Оцінка екологічного ризику та ЕЗГ залишків пестицидів ґрунту в овочевій екосистемі була проведена в одній з провінцій Китаю. У 201 зразку верхнього шару ґрунту 62,1% пестицидних сполук було виявлено за межами кількісного визначення, що демонструє високу частку багаторазового забруднення пестицидами. Піретроїдні інсектициди та гербіцид гліфосат показали найбільше поширення та високі рівні. ЕЗГ змінюється в залежності від граничного стандарту, річної сукупної кількості та коефіцієнта ризику кожного пестицидного забруднювача в ґрунтах. За винятком того, що фенпропатрин перевищив ЕЗГ, хлорфенапір,  $\beta$ -цифлутрин і гліфосат становлять найбільшу загрозу для ЕЗГ протягом наступних 50 років [12].

Ці результати сприятимуть раціональному застосуванню пестицидів та контролю екологічних ризиків ґрунту, тим самим досягаючи зеленого розвитку сільського господарства [12].

Забруднення токсичними речовинами є критичною проблемою навколишнього середовища, яка створює серйозну загрозу для здоров'я людей та сільськогосподарського виробництва. Важкі метали та пестициди займають перше місце в списку екологічних токсичних речовин, які загрожують природі. За аналізом групи китайських та єгипетських вчених

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

Alengebawu A. та ін. (2021) останніми роками дослідження зосереджується на токсичній дії важких металів (кадмій (Cd), свинець (Pb), мідь (Cu) і цинк (Zn)) та пестицидів (інсектициди, гербіциди та фунгіциди), що негативно впливають на сільськогосподарську екосистему (рослини та ґрунту) та здоров'я людини. Вивчають біоаккумуляцію, механізм дії та шляхи передачі важких металів і пестицидів, біодоступність цих забруднювачів у ґрунті та рослинах [13].

Особливо небезпечними є синергетичні та антагоністичні взаємодії між важкими металами та пестицидами та їх комбінований токсичний ефект [13].

Вчені з Ірану досліджували концентрацію важких металів (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, As) та оцінювали їх екологічний ризик у сільськогосподарських ґрунтах Ірану. Для оцінки стану забруднення використовувалися індекс геоаккумуляції (Igeo), фактор забруднення (CF), індекс забруднення (PI) та індекс екологічного ризику (RI). Igeo вказав, що ґрунт не був забруднений Cr, Cu, Ni, Pb та Zn, але був помірно забруднений Cd та As. Крім того, CF виявив низький діапазон забруднення для Cr, Ni та Pb і помірний діапазон для Cu, Zn та As. Cd сприяв найвищому рівню забруднення, за використання хімічних добрив та пестицидів у ґрунті досліджуваної території [14].

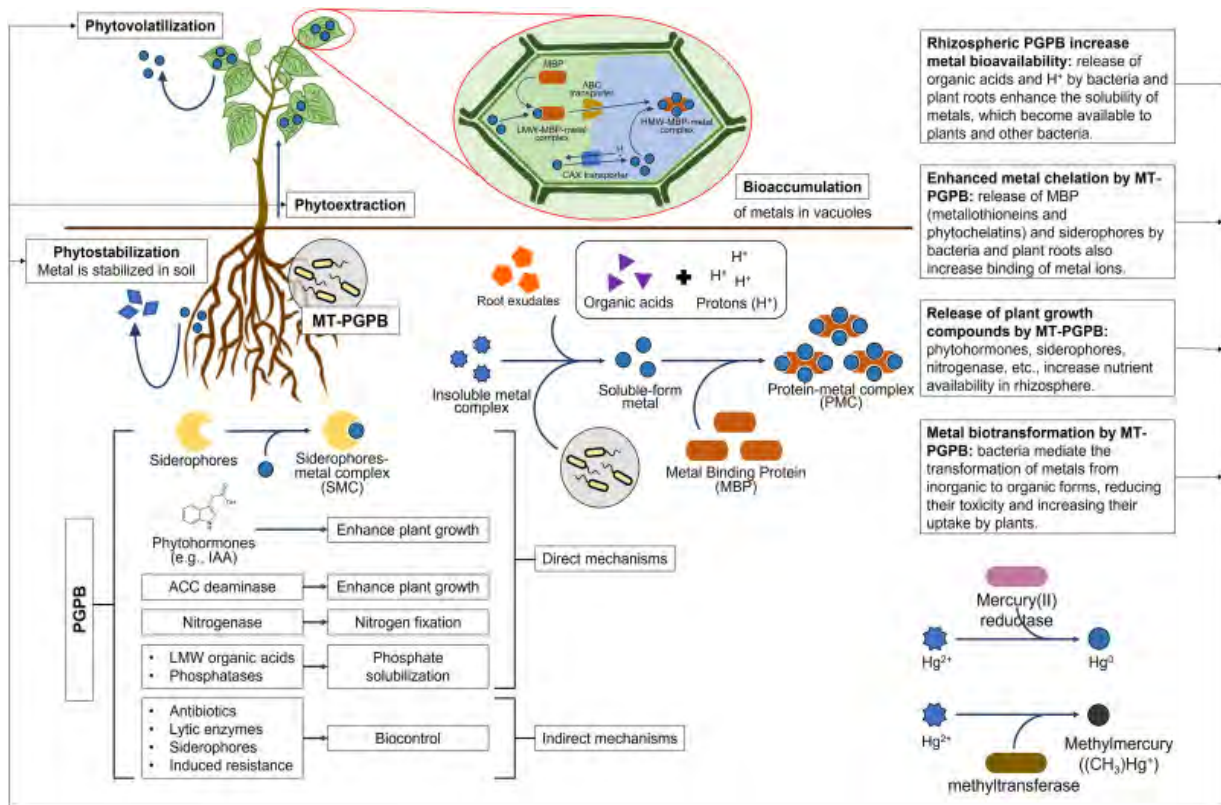
Яковець Л. А. (2019) проведено екологічну оцінку і з'ясовано взаємозалежності між токсико-екологічною характеристикою основної продукції агроценозів, різними рівнями хімізації землеробства і станом окремих компонентів агроекосистем Лісостепу правобережного.

Авторкою з'ясовано, що в агроекосистемах Лісостепу правобережного (Вінницька область) впродовж 2013–2018 рр. за умов інтенсивного рівня хімізації землеробства коефіцієнт небезпечності свинцю у зерні ячменю ярого і пшениці озимої, вирощених в умовах інтенсивної хімізації, був у 2,6 і 1,2 рази, кадмію – у 12,5 і 2,0 та міді – у 3,5 і 5,6 рази більший, ніж за ресурсоощадного рівня хімізації землеробства [15]. В окремих господарствах норми внесення мінеральних добрив під основні польові культури вищі в 1,7–2,7 разів.

Стійкі до металів RGPB підвищують стійкість рослин шляхом підвищення швидкості детоксикації рослин, утворення ферментів, що виділяються корінням рослин, і модифікацією рН ґрунту [16]. Бактерії, що є основою біопрепаратів, спри-

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

яють біоремедіації забруднених металами ґрунтів за допомогою різних механізмів, одним з яких є детоксикація металів ((ім)мобілізація / біонакопичення / трансформація / транслокація). Крім того, певні штами можуть змінювати рухливість і біодоступність металів, а отже, інтенсивність їх використання рослинами шляхом вивільнення хелатоутворювачів, підкислення та окисно-відновних змін [17].



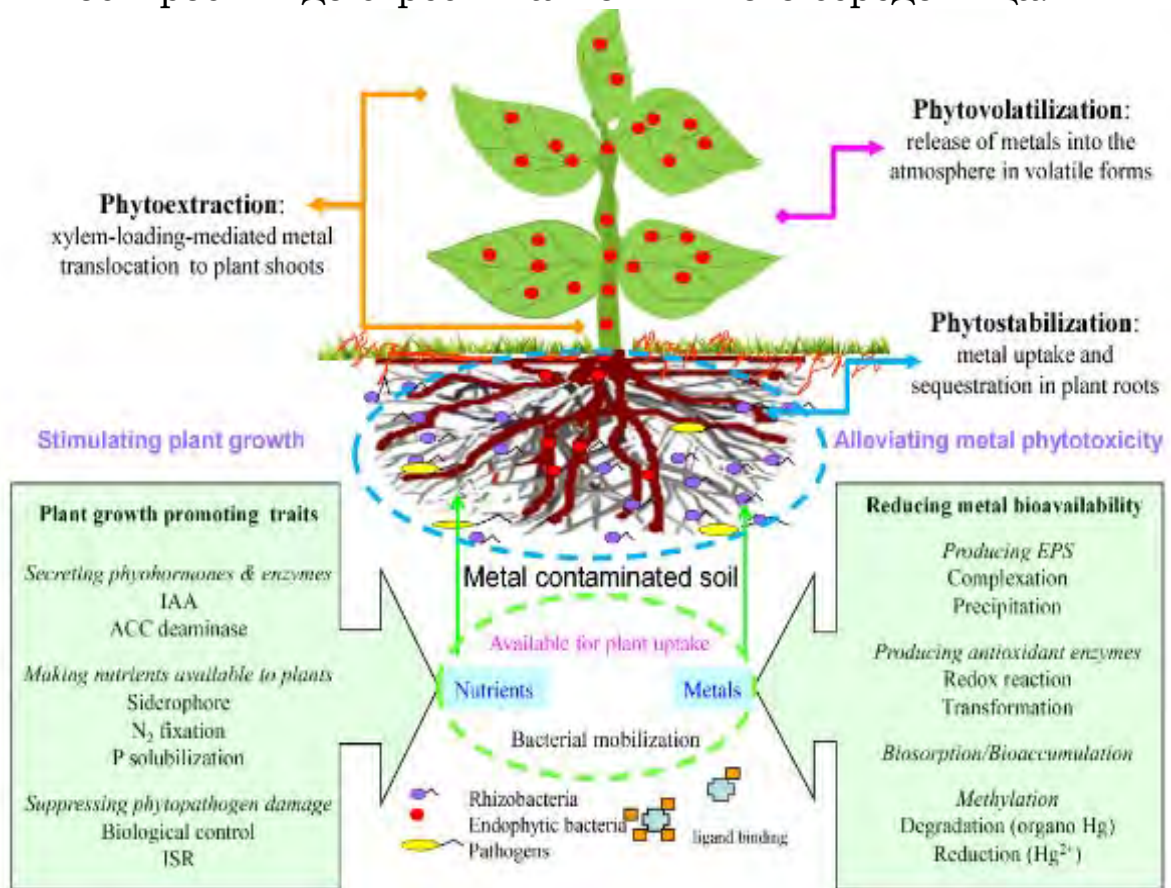
**Рис. 1. Механізми, що беруть участь у рекультивації забрудненого важкими металами ґрунту шляхом взаємодії стимулюючих ріст мікроорганізмів, стійких до металів, MT-PGP (MT – metal tolerance) із рослинами**  
Джерело: [18].

Низка стійких до металів PGPB покращує здатність рослин до біоаккумуляції/фітоекстракції за рахунок секреції сидерофорів і органічних кислот, які покращують біодоступність металів шляхом зниження рН ґрунту [18]. Навпаки, деякі стійкі до металів PGPB можуть вивільняти полісахариди, які прискорюють фітостабілізацію металів, обмежуючи їх рухливість [19].



## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

PGPB може сприяти росту рослин прямо та/або опосередковано під впливом металів. Пряме стимулювання росту рослин за допомогою PGPB передбачає продукування фітогормонів (наприклад, ауксину, цитокініну, гібереліну, абсцизової кислоти та етилену) або сприяння поглинанню рослинами поживних речовин (наприклад, азоту, фосфору, калію тощо). Оскільки взаємодія між антибактеріальною активністю PGPB і конкуренцією поживних речовин пригнічує ріст патогенних бактерій, виробництво антибактеріальних сполук і співіснування патогенів посилюють індуковану стійкість і опосередковано сприяють росту рослин. Один або кілька з цих механізмів можуть бути використані конкретним PGPB для підвищення стійкості рослин до стресів навколишнього середовища.



**Рис. 2. Механізми стимулювання росту рослин ендofітними бактеріями у ґрунтах, забруднених металами (IAA – індол-3-оцтова кислота; ACC – 1-аміноциклопропан-1-карбонова кислота; N<sub>2</sub>, азот; P, фосфат; ISR, індукована системна стійкість; EPS – екзополісахариди) Джерело: [19].**

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

Під час кліматичних стресів за взаємодії ендофітні бактерії – рослини може змінюватись біодоступність металів шляхом їх мобілізації, стабілізації та трансформації, тим самим покращуючи ефективність біоремедіації та зменшуючи ефект кліматичного стресу шляхом регулювання активності антиоксидантних ферментів та балансу іонів у рослинах.

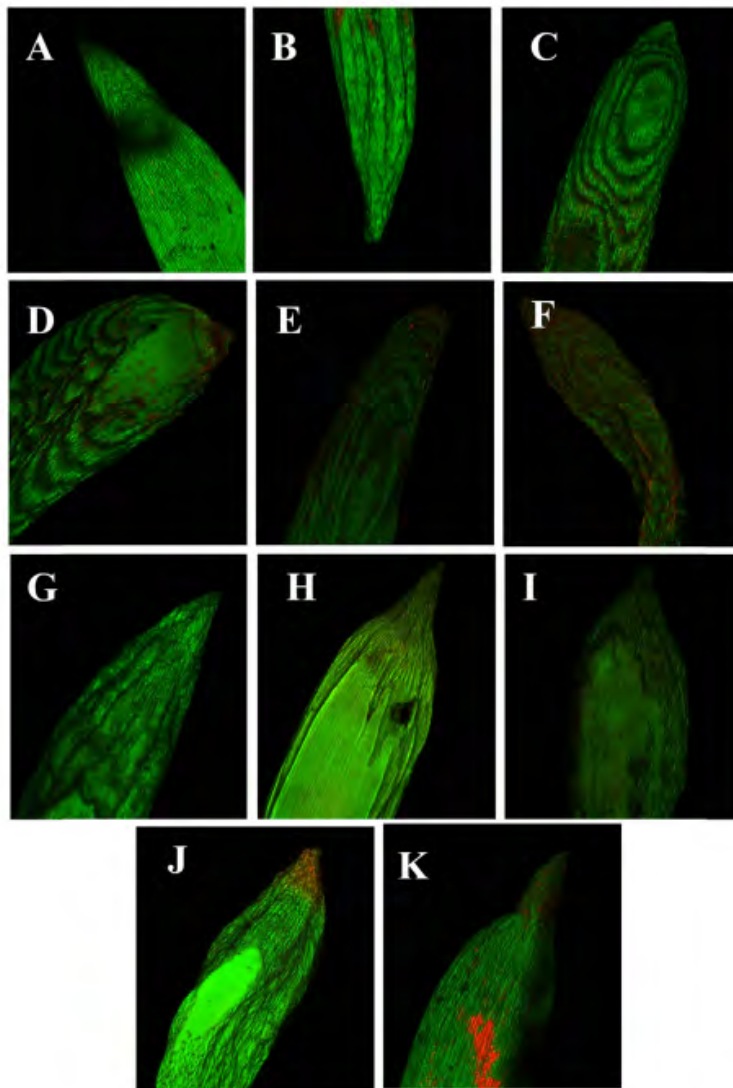
### **Механізми ефективності активних штамів мікроорганізмів у біоремедіації та відновленні ґрунтів.**

Важкі метали є одним із основних абіотичних стресів, які негативно впливають на продуктивність і поживну цінність рослин. Управління мікроорганізмами, що включають використання ризобактерій, які стимулюють ріст рослин (PGPR), є багатообіцяючою недорогою стратегією очищення забруднених ґрунтів від металів. Вільноживучі азотфіксуючі бактерії, що належать до роду *Azotobacter* відіграють значну роль у біогеохімічному циклі шкідливих важких металів, які призводять до відновлення забрудненого металами середовища.

Із забрудненої металом ризосфери перцю Чилі було виділено стійкий до металів штам ризобактерій CAZ3, ідентифікований за допомогою аналізу послідовності гена 16SrRNA як *Azotobacter chroococcum*. Його ефективність була перевірена на рослинах кукурудзи [20] Під впливом різних концентрацій металів *A. chroococcum* виживав до 1400 і 2000 мкг мл<sup>-1</sup> Cu і Pb відповідно і продовжував стимулювати ріст рослин, навіть під впливом металу. Штам CAZ3 секретував 65,5 і 60,8 мкг/ мл<sup>-1</sup> IAA (індоліл-оцтова кислота, ауксин, фітогормон) при 400 мкг мл<sup>-1</sup> Cu і Pb відповідно, і продукував сидерофори, аміак і АСС дезаміназу під впливом металу. Меланін, екстрагований з *A. chroococcum*, виявив здатність хелатувати метал при вивченні EDX спектроскопії. Після застосування штам CAZ3 посилив ріст і врожайність кукурудзи, вирощеної як у присутності Cu, так і Pb. Суха біомаса коренів інокуюваних рослин, вирощених з 2007 мг Cu кг<sup>-1</sup> та 585 мг Pb кг<sup>-1</sup>, збільшилася на 28% і 20% відповідно [20]. При 2007 мг Cu кг<sup>-1</sup> штам CAZ3 збільшив кількість, урожай і білок зерна на 10%, 45% і 6% відповідно. Штам CAZ3 значно знизив рівень проліну, малонового діальдегіду та антиоксидантних ферментів у листі. Коріння інокуюваних рослин накопичувало найбільшу кількість металів порівняно з іншими органами. В зернах концентрація Pb була більшою, ніж Cu. Концентрація металу в коренях, пагонах і зер-

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

нах, однак, знизилася після інокуляції CAZ3. Мідь і свинець мали суттєвий спотворюючий вплив на морфологію коренів і листя, тоді як загибель клітин була помітна при CLSM і SEM (електронна мікроскопія) [20].



**Рис. 3. Зображення за допомогою конфокальної лазерної скануючої мікроскопії кінчика кореня та витягнутої області коренів кукурудзи - необроблений контроль (А) та оброблені рослини - Cu (мкг мл<sup>-1</sup>) 25, 50, 100, 200, 400 (В-Е) і Pb (мкг мл<sup>-1</sup>) 25, 50, 100, 200, 400 (Г-К)**

Джерело: [20].

Застосування біопрепаратів на основі *A. chroococcum* CAZ3 як елемента виробництва кукурудзи виявилось ефективним на забруднених металами ґрунтах [20].

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

Abo-Amer et al. (2014) продемонстрували, що серед ізолятів *Azotobacter*, виділених з ґрунту, забрудненого стічними водами, 10 штамів виявили значний ступінь стійкості до важких металів, таких як  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  і  $\text{Cu}^{2+}$ , що підтверджує можливе використання таких бактеріальних ізолятів для біоремедіації забрудненої металом системи. Дослідження Joshi та Juwarkar [21] показали, що стійкий до важких металів штам *Azotobacter* spp. мають високу тенденцію до зв'язування з Cd і Cr як в умовах *in vitro*, так і *in vivo*, і, таким чином, полягає в значному контролі їх поглинання рослинами пшениці, вирощеними на ґрунтах, забруднених важкими металами. Стійкий до важких металів штам *Azotobacter* spp. був ізольований та ідентифікований. Мінімальні інгібуючі концентрації (МІК)  $\text{Cd}^{2+}$  і  $\text{CrO}_4^{2-}$  були визначені як 20 і 10 мг/л відповідно. В умовах *in vitro* екзополісахариди, що продукуються штамом, зв'язували 15,17 +/- 0,58 мг г<sup>(-1)</sup>  $\text{Cd}^{2+}$  і 21,9 +/- 0,08 мг г<sup>(-1)</sup>  $\text{CrO}_4^{2-}$ . Інфрачервоні спектри перетворення екзополісахаридів Fourier виявили наявність функціональних груп, таких як карбоксильна (-COOH) і гідроксильна (-OH), головним чином залучена до зв'язування іонів металу.

В експериментах з культурою пшениці в лабораторних умовах виділений штам *Azotobacter* додавали до забруднених металами ґрунтів у вигляді вільних клітин та іммобілізованих клітин. Загальна кількість *Azotobacter* та концентрації металів у рослин за різних обробок показали негативний коефіцієнт між популяцією *Azotobacter* та Cd у рослин (-0,496) та Cr (-0,455). Таким чином, можна зробити висновок, що *Azotobacter* spp. бере участь у комплексоутворенні іонів металів за використання екзополісахаридів або через ліпополісахариди клітинної стінки (LPS) [21].

Чотирнадцять штамів *Azotobacter chroococcum*, виділених із ґрунтів Південної Польщі, вивчали на стійкість до різних ксенобіотиків: іонів важких металів:  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , пестицидів: гербіцидів – лінурон (3-(3,4-дихлорфеніл)-1) -метокси-1-метилсечовина) і комбінація мекопропу ((RS)-2-(4-хлор-2-метилфеноксипропанової кислоти), дикамби (3,6-дихлор-2-метоксибензойної кислоти) і МСРА (2-метил-4-хлорфеноксіоцтова кислота), фунгіцид оксихлорид міді, інсектицид фенітротіон (О,О-диметил-О-(3-метил-4-нітрофеніл) фосфоротіоат) [22].

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

Досліджувані ґрунти були розділені на сім груп землекористування: ліси, польові культури, парки, міські газони, промислові території, сади та перелоги, і були проаналізовані на такі концентрації іонів важких металів за допомогою методу атомно-абсорбційної спектрометрії (ААС):  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  [22].

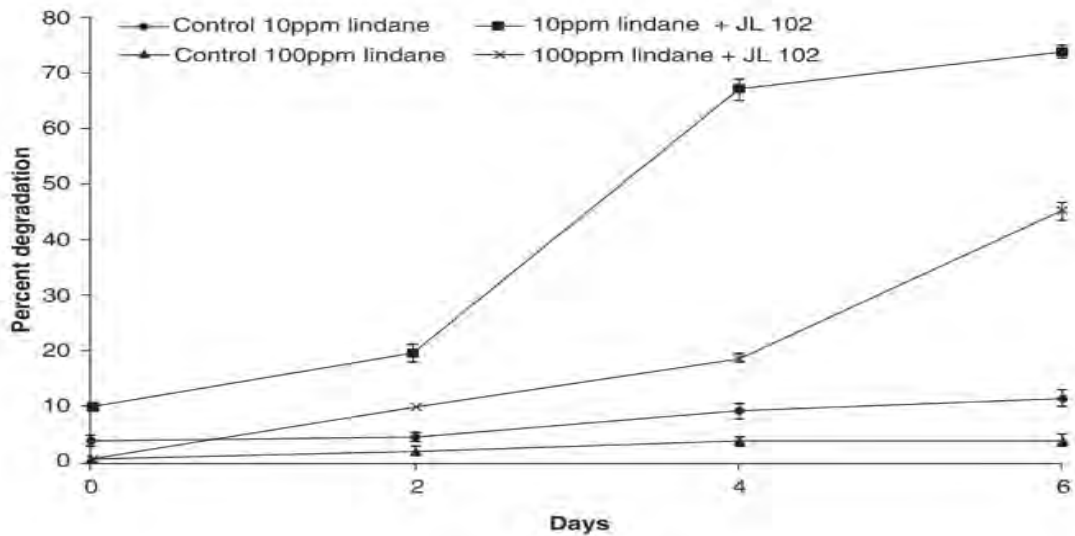
Усі штами були стійкі до  $\text{Pb}^{2+}$ , тоді як інші метали викликали пригнічення росту аналізованих штамів. Не було суттєвого зв'язку між концентрацією металу в досліджуваних ґрунтах і стійкістю до металу ізолятів. Гербіцид Лінурон не пригнічував ріст *A. chroococcum* у жодній із концентрацій. Усі інші пестициди спричиняли пригнічення росту лише у концентрованих формах. Отримані результати потребують подальшого вивчення механізмів резистентності та можливого використання резистентних до ксенобіотиків штамів у рекультивації земель [22].

Внесення біопрепаратів в забруднений нафтою ґрунт прискорює швидкість самоочищення, оскільки бактерії здатні засвоювати вуглеводні нафти як у присутності азоту, а також під час його фіксації. Встановлено, що *Azotobacter chroococcum* активує проліферацію вуглеводнеокислюючих бактерій, які є одними із складових біопрепарату «Деворойл» [23], який містить консорціум п'яти вуглеводневих бактерій та дріжджів, до складу яких включені такі ліофільні гідрофобні мікроорганізми, як бактерії, що окислюють нафтові алкани з довжиною ланцюга  $\text{C}_9$ – $\text{C}_{30}$  та ароматичні сполуки.

Мікроорганізми є ефективними деградаторами пестицидів у забруднених ґрунтах. Ліндан, також відомий як гексахлорциклогексан (ГХГ) є одним з найбільш широко використовуваних широкого спектру хлорорганічних пестицидів, має канцерогенні властивості.

Пестициди, внесені в ґрунт, можуть використовуватися мікроорганізмами як субстрати та піддаватися деградації [24]. Здатність *Azotobacter* sp. використовувати ароматичні сполуки досліджують останніми роками. Наприклад, для розкладання похідних ароматичних сполук, таких як бензоат, *p*-гідроксибензоат, протокатехінова кислота, 2,4-*D*, 2,4,6-трихлорфенол тощо [25].

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ



**Рис. 4. Потенціал *Azotobacter chroococcum* у деградації Ліндану**

Джерело: [26].

Ефективність *Azotobacter* sp. досліджувалась і у розкладанні інших хлорованих фенолів, таких як 2-хлорфенол, 4-хлорфенол, 2,6-дихлорфенол і 2,4-6-трихлорфенол [27]; 2,4-дихлорфеноксіоцтової кислоти (2,4-D) як єдиного джерела вуглецю [28]. 2,4-дихлорфенол (2,4-DCP) є попередником гербіциду 2,4-дихлорфеноксіоцтової кислоти (2,4-D). Окремі штами *A. chroococcum* довели свою ефективність у розпаді ліндану як *ex situ*, так і *in situ* при нижчій концентрації пестициду, наприклад 10 ppm [26]. Проте за вищих концентрацій ліндану, ефективність бактерій була меншою. Це може бути пов'язано з тим, що при більш високих концентраціях ліндану має інгібуючий вплив на ріст бактерій [29].

Chen et al. [30] повідомили, що під впливом Zn і Cd ендоситні бактерії *Pseudomonas fluorescens* можуть стимулювати ріст і покращувати фізіологічні показники рослин (хлорофіл і активність ферментів) у *Sedum afredii*, продукуючи ауксини, покращувати поглинання рослинами Cd шляхом регуляції експресії та транспорту генів. Крім того, деякі RGPB, що продукують ІУК, можуть збільшити поглинання рослинами поживних речовин і води та зменшити вплив засолення та посухи на рослини шляхом зміни архітектури кореневої системи [31]. Chen et al. [32] продемонстрували потенціал *B. subtilis*, що продукує абсцизову кислоту (АВА), для мінімізації накопичен-

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

ня Cd в *Arabidopsis thaliana*. Ряд бактерій, здатних виробляти гіберелінову кислоту, зменшує токсичність металів, зменшуючи поглинання Cd і перекисне окислення ліпідів, змінюючи гормональний баланс і регулюючи активність протеаз, каталази та пероксидази [33]. Крім того, RGPB, що містить ACCD, може допомогти рослинам розщепити синтезований попередник етилену 1-аміноциклопропан-1-карбоксилат, метаболізуючи його в  $\alpha$ -бутанонову кислоту та аміак, тим самим знижуючи рівень етилену в рослинах і покращуючи їх стійкість до кліматичного стресу [34].

Rizvi, A., & Khan, M. S. [34] за допомогою аналізу послідовності 16S рДНК було ідентифіковано бактерії *Pseudomonas aeruginosa*, стійкі до металів, виділені з ризосфери перцю чілі. Вони переносили високі концентрації Cu (1400 мкг мл<sup>-1</sup>), Cd (1000 мкг мл<sup>-1</sup>) і Cr (1000 мкг мл<sup>-1</sup>). Було досліджено їх ефективність на рослинах пшениці.

Штам *Pseudomonas aeruginosa* CPSB1 виробляє кілька біомолекул, що сприяють росту рослин за наявності і відсутності металів. Штам CPSB1 солюбілізував P при 400 мкг мл<sup>-1</sup> Cd, Cr і Cu, утворював індол-3-оцтову кислоту (ІУК), сидерофори, ціаністий водень (HCN), аміак (NH<sub>3</sub>) і 1-аміноциклопропан-1-карбоксилат (ACC) дезамінази.

Пшениця, інокульована *P. aeruginosa* CPSB1, мала кращий ріст і врожайність за тиску Cu, Cd і Cr. Збільшено кількість кореневої сухої біомаси інокульованих рослин на 44, 28 і 48% при 2007 мг Cu кг<sup>-1</sup>, 36 мг Cd кг<sup>-1</sup> і 204 мг Cr кг<sup>-1</sup> відповідно. Біоінокулянт збільшив кількість колосків, урожайність зерна та соломи на 25, 17 та 12% відповідно.

Горових О. Г. та ін. [35] дослідили ефективність препаратів «Екобел», який містить штами мікроорганізмів-деструкторів роду *Rhodococcus*, та «РодобелТН» (містить біомасу мікроорганізмів-деструкторів вуглеводнів нафти роду *Bacillus* і *Rhodococcus*, іммобілізованих на торфі). Препарат «Деворойл» крім 3 штамів *Rhodococcus* spp., містить також штами *Alcaligenes* sp., *Jarrowia lipolytica* та деякі ін.

Максимальний вміст нафтопродуктів доходив до 84500 г/кг ґрунту. При використанні препарату «Деворойл» після 8 років застосування забруднені території не відповідали вимогам норм щодо вмісту нафтопродуктів та належали до забруднених.

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

Однак ступінь забруднення оброблюваних ґрунтів значно зменшилася і забруднені ґрунти стали відповідати IV класу, що дозволило їх використовувати для інших цілей [35].

*Pseudomonas chlororaphis*, штам UFB2, *Klebsiella pneumoniae*, штам KPN1H39 і *Klebsiella pneumoniae* штам DHQP1002001 розкладали від 49,01% до 75,11% 2,4-DCP (попередник гербіциду 2,4-дихлорфеноксіоцтової кислоти) протягом 10 днів з константою швидкості розкладання в межах від 0,07 до 0,14 мг/л/день [36]. ПЛР-ампліфікація катаболічних генів, що беруть участь у деградації 2,4-DCP, виявила присутність наступних ферментів у *Pseudomonas chlororaphis* і *Klebsiella pneumoniae* відповідно: фенолгідроксилази, катехол-1,2-діоксигеназа, муконатізомераза, цисдієнелактонгідролаза, трансдієнелактонгідролаза.

Серйозною проблемою за умов воєнного стану є підвищення концентрації важких металів (ВМ), нафти та інших забруднювачів внаслідок різноманітної антропогенної діяльності. Відновлення ВМ у забрудненому ґрунті здійснюється за допомогою фізико-хімічних процесів, які є дорогими, трудомісткими та нестабільними. Взаємодія метал-мікроорганізми є новою, але недостатньо використовуваною технологією, яку можна запроваджувати для зменшення стресу у рослин.

**Активізація розвитку мікроорганізмів в системі: біопрепарати - фізіологічні групи мікроорганізмів – кореневі екзометаболіти рослин сої.**

Збалансоване функціонування ґрунту залежить від ґрунтового мікробіому, що є відповідальним за багато функцій у біосфері, забезпечення широкого спектру продовольчих та екосистемних сервісів [37-39].

Мікроорганізми є пріоритетним об'єктом моніторингу, перевага якого заснована на функції мікробних угруповань підтримувати гомеостаз агроценозів та на специфічних особливостях мікробних популяцій, що дозволяють використовувати їх з метою біоіндикації навколишнього середовища. Для підтримки гомеостазу природних екосистем мікробні спільноти мають універсальні механізми, розуміння яких є запорукою правильно обраної стратегії мікробіологічної охорони природних та антропогенних екосистем.

Одними з таких індикаторів є мікроорганізми, що характеризують таксономічну та функціональну структуру ґрунту



## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

(еколого-трофічні групи, мікроорганізми, які споживають різні субстрати) за впливу різних чинників.

Актуальним на сьогоднішній день є виявлення найбільш значущих і легко визначених індикаторів, які описують стан мікробних спільнот екосистем, за антропогенного впливу або природних стресів. Як біоіндикатори, мікробні спільноти є найчутливішими показниками, здатними дати інтегральну оцінку стану ґрунтового покриву та екосистеми в цілому. Особливо актуальними і важливими є мікробіологічна діагностика та мікробіологічний моніторинг стану ґрунтів антропогенно (техногенно) порушених природних екосистем та агроценозів в умовах воєнного стану.

Істотний негативний вплив чинить на корисну мікрофлору зниження кількості органічних добрив і збільшення пестицидного навантаження в порівнянні з необхідною кількістю, розрахованим на основі достовірного прогнозу чисельності шкідливих об'єктів. У ряді випадків зменшується чисельність практично всіх еколого-трофічних груп мікроорганізмів та значно змінюється співвідношення між ними, а внаслідок цього відбувається порушення функціонального зв'язку в агроекосистемі, зниження біологічної активності ґрунтів. Пригнічення аутохтонної корисної мікрофлори, згідно з Патиною М.В. та ін. (2009) [40] часто супроводжується збільшенням чисельності фітопатогенних видів, що викликають розвиток небезпечних хвороб рослин

За даними дослідження органічного ринку у 2019 році, проведеного Information Center Green Dossier (OrganicInfo.ua), Органік Стандарт та Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Україна займає друге місце (із 123 країн) з експорту органічної продукції в ЄС. Офіційні статистичні огляди IFOAM підтверджують, що в 2018 р. в Україні нараховувалось близько 510 органічних господарств, а загальна площа сільськогосподарських угідь, на яких ведеться органічне виробництво, склала 429100 га.

Серед виробників органічної продукції понад 4,6% зайняті вирощуванням бобових [41]. Слід зазначити, що однією з основних культур родини *Fabaceae*, що вирощується в Україні є соя (*Glycine max* (L.) Merr.). Відбувається значне збільшення посівних площ та обсягів виробництва сої, і актуальним є питання її органічного виробництва.

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

Одним із способів збільшення виробництва рослинного білка сої та екологічно безпечного функціонування агрофітоценозів є застосування біопрепаратів та активізація мікробно-рослинної взаємодії, що призведе до зменшення навантаження хімічних пестицидів в агроекосистемах, до покращення фітосанітарного стану в агроценозах, а також сприятиме активізації природних процесів – азотфіксації та фосфатмобілізації та підвищенню потенціалу рослинно-мікробної взаємодії.

Відомо, що мікробіологічні препарати є важливим чинником регуляції чисельності фітопатогенних мікроорганізмів в агрофітоценозах [42-44].

Вони формують конкурентні відносини з аборигенними видами мікроорганізмів та є індукторами стійкості природної системи. Багато дослідників показали, що різні мікроорганізми можуть бути антагоністами фітопатогенів [45; 46].

Досліджено ефективність різноманітних біопрепаратів, створених на основі симбіотичних ризобактерій в агроценозах сої в різних ґрунтово- кліматичних зонах України. Доведено, що обробка насіння сої мікробіологічними препаратами Ризобофітом, Біополіцидом, Флавобактерином і їх комплексами в умовах центрального Лісостепу України (Полтавська область) сприяє істотному підвищенню урожаю сої [47].

За вирощування сої сорту Медея за різних систем удобрення та основного обробітку ґрунту доведено значну ефективність мікробного препарату комплексної дії Ризогумін, створеного на основі штамів бактерій *Bradyrhizobium japonicum* як окремо, так і у комбінації з регуляторами росту рослин Біолан та Біосил [48]. Також досліджено польову схожість насіння, біометричні показники, кількість бульбочок і урожайність сортів сої різних груп стиглості за дії біопрепаратів Ризогумін і Ризостим створених на основі штамів бактерій *Bradyrhizobium japonicum* та *Rhizobium leguminosarum*) [49]. Встановлено значну ефективність роздільного та інтегрованого застосування мікробного препарату Ризобофіт, регулятора росту рослин природного походження Регоплант і гербіциду Фабіан в агроценозі сої в умовах Правобережного Лісостепу України [50].

Особливо актуальними є результати дослідження сумісного застосування рістстимулювальних бактерій групи Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) та вторинних мікробних метаболітів штамів (*B. japonicum*, *B. diazoefficiens*, *Bacillus*

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

*subtilis*, *Azospirillum brasilense*, *Rhizobium tropici*) за вирощування сої [51].

Вивчено біологічну активність (активність ферментів, фіксації азоту, антагоністичну активність до фітопатогенних грибів та утворення індолілоцтової кислоти (ІОК) бактеріальних ізолятів групи (PGPR) на рослинах сої [52]. Доведено, що 8 із 15 ізолятів активно синтезували амілази, протеази, 4 ізоляти мали високу азотфіксуючу здатність. Відсоток ізолятів з високою або помірною інгібіторною дією проти грибів *Sclerotinia sclerotiorum*, *Macrophomina phaseolina* та *Fusarium solani* становили 73,3%, 66,6% і 73,3% відповідно. 5 ізолятів мали низьку, 6 – помірну, а 4 – високу активність щодо продукування ІОК. Автори стверджують, що в наслідок інокуляції бактеріальними ізолятами насіння сої істотно підвищується розвиток рослин [52].

Як свідчить аналіз літератури, протягом останніх десятиліть, в результаті інтенсивного розвитку методів захисту рослин від фітопатогенних мікроорганізмів значно зріс інтерес до алелопатичних властивостей ґрунтових мікроорганізмів [53]. На особливу увагу заслуговують феноли рослин, які характеризуються високою фізіологічною активністю і можуть бути стимуляторами або інгібіторами багатьох обмінних процесів у бактерій. Фенольні сполуки корневих виділень рослин можуть виступати також у ролі індукторів (сигнальних речовин) у взаємодії рослини та мікроорганізмів. Встановлено, що ці сполуки є активуючим компонентом ексудатів кореня і мають здатність експресувати гени, необхідні для здійснення послідовних стадій взаємодії рослини-господаря з мікросимбіонтом. Відомо, що культурні рослини, які характеризуються високою стійкістю до фітопатогенних мікроорганізмів, зумовляють значний селективний тиск на їх популяції, що призводить до відбору патогенних та агресивних форм. Сильно сприйнятливі рослини забезпечують швидкий ріст чисельності популяцій фітопатогенів. Крім того доведено, що незалежно від стійкості до хвороб, деякі сорти культурних рослин можуть підвищувати репродуктивну здатність патогенних мікроміцетів, що призводить до істотного зростання інтенсивності фітопатогенного фону — чинника біологічного забруднення агроєкосистем [1].

Відомо, що обробка насіння біопрепаратами сприяє зменшенню хвороб рослин та збільшенню їх врожайності. Бактеріальний антагонізм базується на багатьох факторах, включа-

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

ючи утворення антибіотиків і сидерофорів; синтез гідролітичних ферментів (хітинази, глюконази, протеази і ліпази), які можуть лізувати клітини інших бактерій або грибів; призводити до конкуренції за поживні речовини на поверхні кореневої системи рослини та регулювати рівень етилену, рослинного гормону, за участю ферменту аміноциклопропан-1-карбоксилат (АСС)-деамінази, у відповідь на стресовий вплив фітопатогенів [54]. До найбільш ефективних біологічно активних метаболітів відносять антибіотики, які обмежують (або повністю припиняють) поширення фітопатогенів [43]. Продукти одного або кількох антибіотиків є найбільш поширеним способом боротьби з фітопатогенами. До антибіотиків належать флороглюцин, похідні феназину, піолютеорину та пірролнітрину, синтезовані псевдомонадами; ітурин А, сурфактин і цвіттерміцин А, вироблені представниками роду *Bacillus* [55; 56].

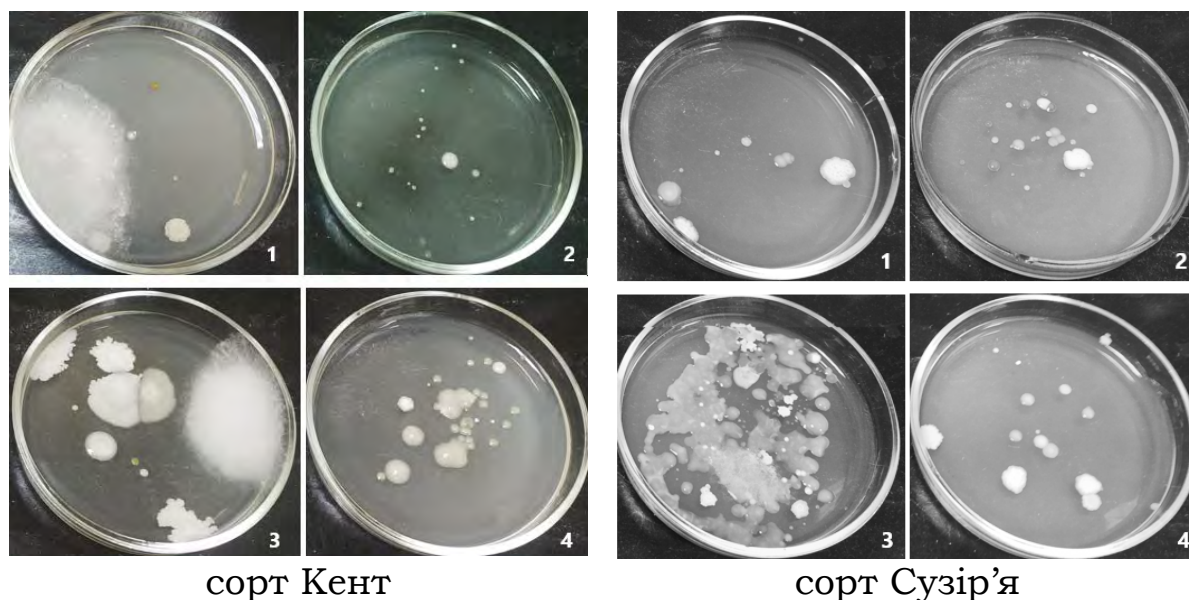
Дослідження впливу біопрепаратів, створених на основі бактерій: *Bacillus subtilis*, *Azotobacter*, *Enterobacter* та *Enterococcus*, на основні фізіологічні групи ґрунтових мікроорганізмів за вирощування рослин сої проводили в Інституті агроєкології і природокористування НААН України у відділі агробіоресурсів і екологічно безпечних технологій в лабораторних та вегетаційних умовах. Насіння сої сортів Сузір'я (селекції Національного наукового центру Інституту землеробства Національної академії аграрних наук України) і Кент (селекції компанії SAATBAULINZ, Австрія) обробляли біопрепаратами виробництва ПП «БТУ-Центр»: Фітоцид (*Bacillus subtilis*, титр клітин  $1-4 \times 10^9$  КОЕ/см<sup>3</sup>), ФітоХелп (*B. subtilis* - титр клітин не менш ніж  $4 \times 10^9$  КОЕ/см<sup>3</sup>), МікоХелп (*B. subtilis*, *Azotobacter*, *Enterobacter* та *Enterococcus*) згідно рекомендованих доз використання. Для визначення ґрунтових мікроорганізмів та їх асоціацій, використовували методи, що прописані у Державному стандарті 7847:2015.

Як свідчить ретроспективний аналіз літератури, чисельність основних фізіологічних груп мікроорганізмів в агроценозах істотно контролюється біопрепаратами [57; 58]. Однією з основних функцій мікробних препаратів в агроценозах культурних рослин є зниження чисельності фітопатогенних мікроорганізмів в мікробіомі ґрунту з метою підвищення в рослинах фізіолого-біохімічних процесів, які забезпечують отримання якісної та екологічно безпечної рослинної продукції [59].

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

За результатами власних досліджень встановлено, що біопрепарат МікоХелп, у ґрунті під рослинами сої сорту Кент підвищує кількість мікроорганізмів, які використовують переважно органічні сполуки азоту, у порівнянні із контрольним та еталонним варіантами в середньому в 3,3 рази (рис.5, рис.6).

За вирощування рослин сої сорту Сузір'я найвищу кількість мікроорганізмів, які використовують переважно органічні сполуки азоту у ґрунті спостерігали у варіанті із додаванням біопрепарату ФітоХелп ( $6,4 \times 10^6$  КУО/г ґрунту), що у 18,8 та 5,3 рази вище, ніж у контрольному ( $3,4 \times 10^5$  КУО/г ґрунту) та еталонному ( $1,2 \times 10^6$  КУО/г ґрунту) варіантах (рис.5, рис.7).



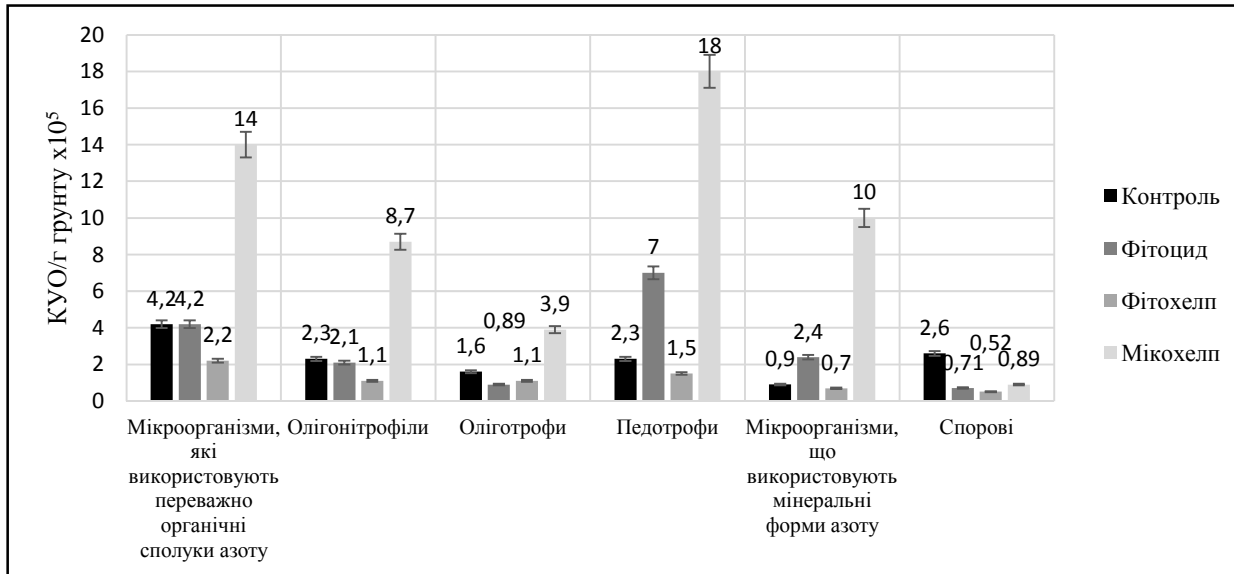
**Рис 5. Чисельність колоній мікроорганізмів, що використовують переважно органічні сполуки азоту, за впливу біологічних препаратів: 1 – Контроль; 2 – Еталон (Фітоцид); 3 – ФітоХелп; 4 – МікоХелп**

*Джерело:* розроблено авторами на основі власних досліджень.

Встановлено, що за вирощування рослин сої сорту Кент із додаванням біопрепарату ФітоХелп чисельність олігонітрофільних бактерій знижувалась на 48,7 %, у порівнянні із контролем ( $2,3 \times 10^5$  КУО/г ґрунту) (рис.6). В той же час за вирощування сої сорту Сузір'я із додаванням біопрепаратів ФітоХелп та МікоХелп зменшення чисельності олігонітрофільних бактерій у порівнянні із контрольним варіантом не відбувалось (рис.7). Олігонітрофільні бактерії у ґрунті представлені переважно видами

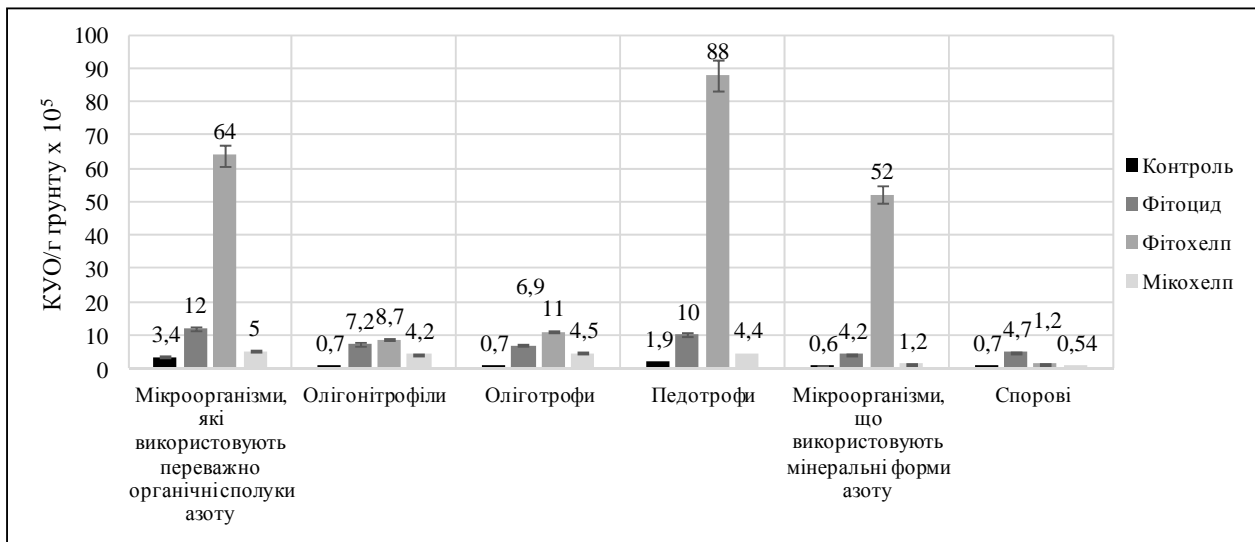
## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

роду *Azotobacter*, які є індикаторами зміни концентрації фосфору у ґрунті, калію, кальцію та загальної фітотоксичності.



**Рис. 6** Чисельність основних фізіологічних груп мікроорганізмів в мікробіомі ґрунту, за впливу біологічних препаратів та рослин сої сорту *Кент*

Джерело: розроблено авторами на основі власних досліджень.



**Рис. 7.** Чисельність основних фізіологічних груп мікроорганізмів в мікробіомі ґрунту, за впливу біологічних препаратів та рослин сої сорту *сої Сузір'я*

Джерело: розроблено авторами на основі власних досліджень.

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

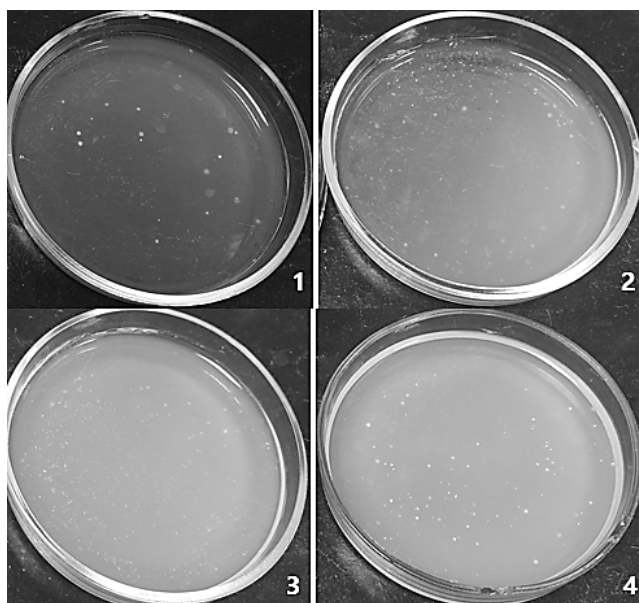
На думку Малиновської І.М. [60] розвиток бактерій роду *Azotobacter* в ризосфері бобових рослин протягом вегетаційного періоду стримується представниками азотофіксуючих мікроорганізмів, що знаходяться з рослиною в асоціативних взаєминах, або бактерій – біоагентів інокуляційних препаратів. На зниження їх чисельності в ґрунті може впливати різний вміст фенольних сполук в корневих екзометаболітах сортів рослин. Відомо, що у кореневі ексудати бобових рослин представлені низкою фенольних сполук (ФС), склад і функції яких, досить різноманітний. Ряд ФС, з-поміж присутніх у корневих ексудатах, може піддаватися катаболізму під дією мікроорганізмів і служить для них трофічним матеріалом. Також ФС є рослинними сигнальними молекулами, що індують у ризобій біосинтез Nod факторів, ініціюють процеси інфікування та нодуляції [61]. У корневих ексудатах бобових рослин виявлено фітоалексини ізофлавоноїдного походження, що пригнічують ґрунтову мікрофлору (за виключенням бактерій *Rhizobium*). Макарова Л.Ye [61] виділено сполуки ароматичного ряду, ізольовані із корневих ексудатів трьох видів бобових рослин (*Pisum sativum* L., *Vicia faba* L. var. *major* Hartz, *Glycine max* L. MERR), які були ідентифіковані як N-феніл-2-нафтиламін, дибутиловий та діоктиловий ефіри орто-фталевої кислоти. Зазначені сполуки відомі як негативні алелопатичні речовини, що беруть участь у контролюванні формування бобово-ризобіального симбіозу після інокуляції коріння ризобіями та у несприятливих для симбіозу умовах.

Чисельність автохтонних мікроорганізмів (педотрофів), завдяки своїй трофічній специфічності варіювала в межах  $1,5 \times 10^5$  –  $1,8 \times 10^6$  КУО/г ґрунту для зразків, на яких вирощували сою сорту Кент, та в межах  $1,9 \times 10^5$  –  $8,8 \times 10^6$  КУО/г ґрунту для зразків, на яких вирощували сою сорту Сузір'я (рис. 5-б). Варто зазначити, що найвища кількість даної фізіологічної групи була визначена для ґрунту, під соєю сорту Кент, вирощеною за впливу біопрепарату ФітоХелп, та під соєю сорту Сузір'я, вирощеною за впливу біопрепарату МікоХелп.

Визначено, що зразки ґрунту, у присутності біопрепарату ФітоХелп, за вирощування рослин сої сорту Сузір'я, характеризуються найвищою чисельністю оліготрофів, яка виявилась на 1-2 порядки вищою, ніж у еталонному та контрольному зразках, відповідно (рис. 8).

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

Це можна пояснити тим, що в результаті росту рослин сої кількість поживних речовин у ґрунті знижується. Це призводить до підвищення чисельності фізіологічної групи мікроорганізмів, які потребують незначної кількості поживних речовин для забезпечення своєї життєдіяльності.



**Рис. 8. Колонії оліготрофних мікроорганізмів в мікробіомі ґрунту за впливу рослин сої сорту Сузір`я і біопрепаратів: 1 –Контроль; 2 – Фітоцид; 3 – ФітоХелл; 4 – МікоХелл**

*Джерело:* розроблено авторами на основі власних досліджень.

Відомо, що кореневі екsudати рослин мають різноманітні функції, наприклад глікозиди та синильна кислота пригнічують ріст патогенних грибів; флавоноїди відповідають за колонізацію везикулярно-арбускулярної мікоризи; фітоалексини та нафтохінони захищають клітини кореня рослин від колонізації патогенними мікроорганізмами; розмаринова кислота має антифунгальну дію щодо *Phytophthora cinnamoni*; сесквітерпени викликають розгалуження гіф мікроміцетів у мікоризі. Відомо, що ризосферні бактерії роду *Pseudomonas* (PGPR) можуть використовувати пули кореневого екsudату для попередників - регуляторів росту рослин. Так, триптофан є попередником індол-оцтової кислоти (ІОК) та фітогормону ауксину та сприяє росту та розвитку рослин [62].

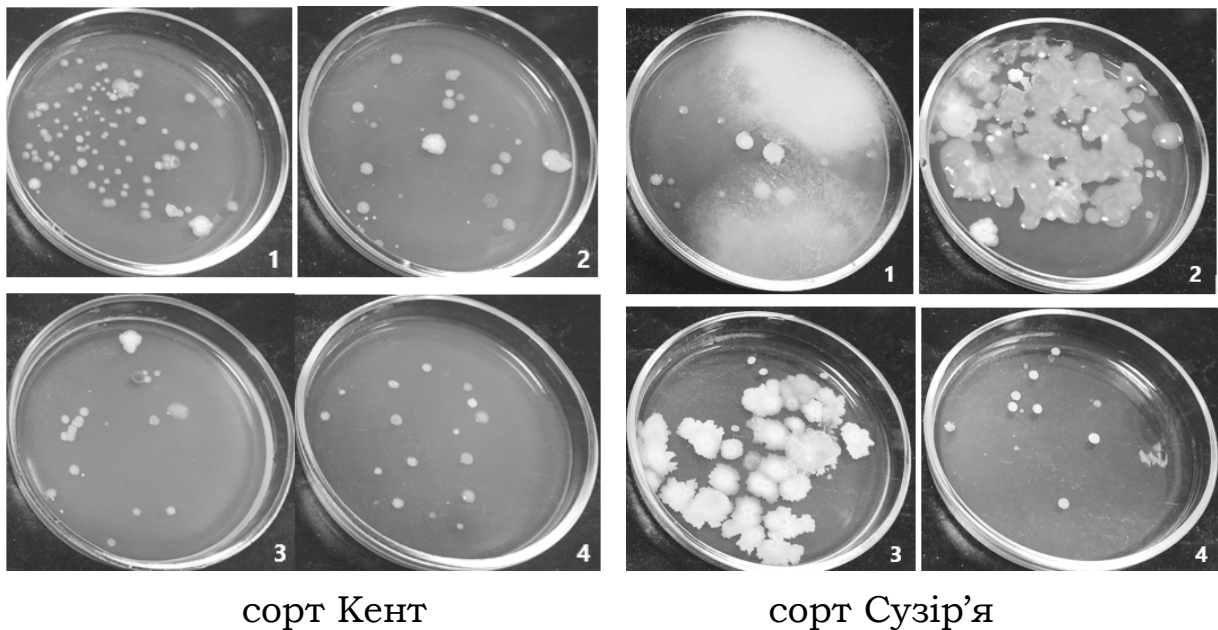


## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

Встановлено, що у варіанті - рослини сої сорту Кент + біопрепарат МікоХелп чисельність мікроорганізмів, які використовують мінеральні форми азоту, була у двічі вищою, порівняно із контролем (рис. 7).

Підвищення чисельності вище зазначеної групи мікроорганізмів спостерігали також у варіанті - рослини сої сорту Сузір'я + біопрепарат ФітоХелп (рис. 8). Відомо, що вище зазначена фізіологічна група мікроорганізмів бере активну участь у процесах трансформації органічних сполук рослинного походження.

Про високу активність мікробіологічних процесів у ґрунті свідчить і зниження чисельності неактивних спорових форм. Встановлено, що кількість спороутворюючих бактерій, які беруть участь у трансформації органічної речовини, за вирощування рослин сої сорту Кент із додаванням біопрепаратів ФітоХелп та МікоХелп знижується в 5 та 2,9 разів відповідно у порівнянні із контролем (рис. 9).

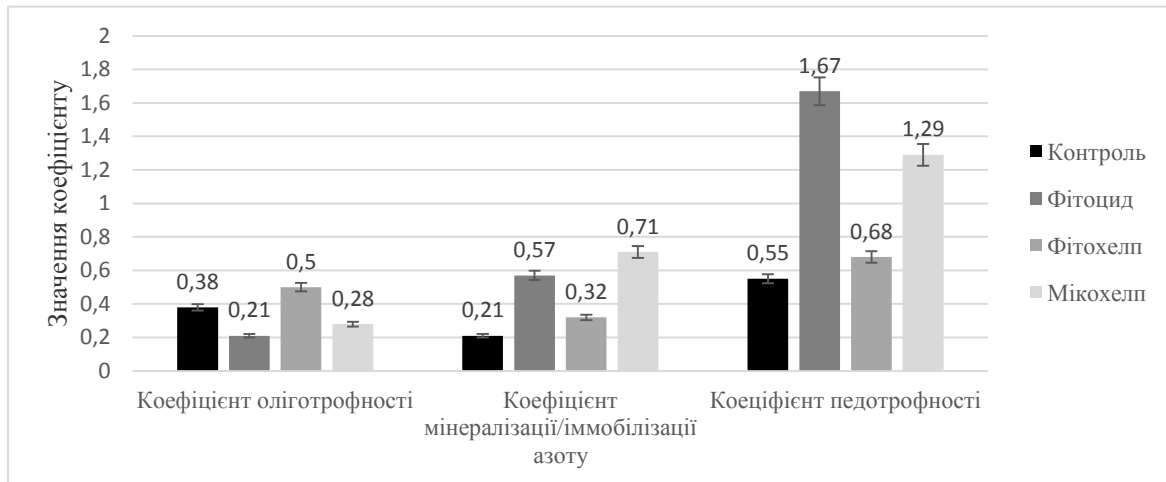


**Рис. 9. Колонії спороутворюючих мікроорганізмів в мікробіомі ґрунту за впливу рослин сої сортів Кент і Сузір'я та біопрепаратів: 1 –Контроль; 2 – Фітоцид; 3 – ФітоХелп; 4 – МікоХелп**

Джерело: розроблено авторами на основі власних досліджень.

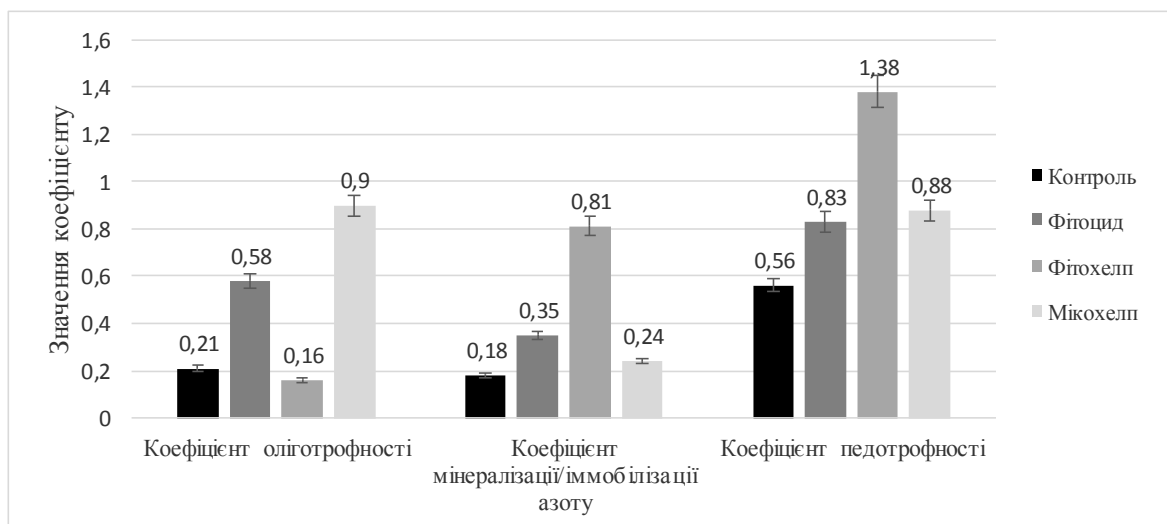
## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

Для характеристики направленості мобілізаційних процесів ґрунту визначали співвідношення еколого-трофічних груп мікроорганізмів, зокрема, мікроорганізмів, що беруть участь у мінералізації/імобілізації азоту, оліготрофів та педотрофів. У зв'язку із цим розраховували коефіцієнти мінералізації (КАА/Зв), оліготрофності (ГА/Зв) та педотрофності (Гра/Зв) (рис. 10; 11).



**Рис. 10. Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті за вирощування рослин сої сорту Кент**

Джерело: розроблено авторами на основі власних досліджень.



**Рис. 11. Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті за вирощування рослин сої сорту Сузір'я**

Джерело: розроблено авторами на основі власних досліджень.

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

Коефіцієнт мінералізації та іммобілізації азоту свідчить про ступінь мінералізації органічної речовини в ґрунті. Коефіцієнт мінералізації - іммобілізації (менше одиниці) свідчить про високу протеолітичну активність, оскільки мікроорганізмів, що мінералізують азотовмісні органічні речовини, більше, ніж тих, що засвоюють мінеральні форми азоту. Найвищі значення даного коефіцієнта (0,71 та 0,81) були відмічені для мікробіому ґрунту у варіанті – рослини сої сорту Кент + МікоХелп та рослини сої сорту Сузір`я + ФітоХелп, відповідно. Низькі значення вище зазначеного коефіцієнту вказують на слабку забезпеченість ґрунту мінеральним азотом.

Коефіцієнт оліготрофності у всіх досліджуваних зразках ґрунту був низьким (<1). Це свідчить про високу забезпеченість ґрунтового мікробіому елементами живлення.

Серед досліджуваних зразків у варіантах: сорт сої Кент + Фітоцид, сорт сої Кент + МікоХелп та сорт сої Сузір`я + ФітоХелп мали вищий коефіцієнт педотрофності: 1,67, 1,29 та 1,38, відповідно, що вказує на збільшення інтенсивності розкладу органічної речовини ґрунту.

Таким чином, з'ясовано особливості впливу біопрепаратів, створених на основі бактерій: *Bacillus subtilis*, *Azotobacter*, *Enterobacter* та *Enterococcus*, на основні фізіологічні групи ґрунтових мікроорганізмів за вирощування рослин сої. Встановлено, що в агроценозі сої сортів Сузір`я і Кент, біопрепарати МікоХелп та ФітоХелп впливають на основні екологічно-трофічні групи мікробіому ґрунту, чим підвищують мікробіологічну активність ґрунту; значно активізують розвиток мікроорганізмів, які використовують переважно органічні сполуки азоту (в системі сорт Кент - біопрепарат МікоХелп цей показник збільшився в 3,3 рази, а сорт Сузір`я - біопрепарат ФітоХелп – у 5,3 –18,8 рази порівняно з еталонним та контрольним варіантами, відповідно).

Кореневі екзометаболіти сортів сої зумовлюють характер та інтенсивність впливу мікроорганізмів на рослини та зміни структури мікробних угруповань ризосфери. В системі сорт сої Кент - біопрепарат ФітоХелп чисельність олігонітрофільних бактерій істотно знижується (на 48,7 %), а в системі – сорт сої Сузір`я – біопрепарати як ФітоХелп, так і МікоХелп – залишається незмінним.

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

За оптимізації функціонування системи, після обробки насіння біопрепаратами, в ґрунті, в системі рослини сої - сорт Кент, знижується в 2,9 – 5,0 разів чисельність неактивних спорових форм, порівняно із контролем; послаблюються процеси деструкції органічної речовини та посилюється її синтез згідно із значеннями коефіцієнтів оліготрофності, мінералізації й іммобілізації азоту та педотрофності.

Дослідження, проведені в цьому напрямку, дозволять здійснювати мікробіологічний моніторинг стану ґрунтів, виявити стійкі до екстремальних екологічних та антропогенних (техногенних) факторів види та комплекси мікроорганізмів, на основі яких можливо здійснювати біоремедіацію та зберігати гомеостаз порушених ґрунтових екосистем.

Отже, корисні для рослин мікроорганізми (Plant beneficial microorganisms (PBM)), зокрема бактерії, що стимулюють ріст рослин (PGPB), створюють симбіотичні відносини з рослинами, пом'якшуючи токсичність важких металів, сприяючи мульти-модальній стійкості рослин до металів і кліматичних стресів, а також впливаючи на біодоступність металів у ґрунтах.

PGPB можуть зменшувати токсичність металів і змінювати їх біодоступність у ґрунтах шляхом біосорбції металів, біоаккумуляції, окисно-відновних реакцій, мобілізації, осадження та трансформації [20].

Вони також можуть забезпечувати рослинам комплексну толерантність до різноманітних кліматичних стресів (таких як посуха та висока солоність), продукуючи 1-аміноциклопропан-1-карбоксилатдеаміназу (ACCSD), сидерофори і фітогормони, а також розчиняючи нерозчинні мінеральні поживні речовини (такі як азот, фосфор і калій). Активні штами PGPB також можуть захищати рослини від фітопатогенів, виробляючи антибіотики та індукуючи індуковану системну резистентність. Розуміння взаємодії між рослинами та PBM має великий потенціал для прискорення фіторемедіації металів під впливом різних екологічних факторів (наприклад, засолення, посуха та екстремальна температура).

Одним з перспективних напрямків на сьогодні є дослідження біоремедіації забруднених металами ґрунтів під час кліматичних стресів та в післявоєнних умовах, використовуючи біопрепарати. Біоремедіація зменшує забруднення сільськогосподарських ґрунтів пестицидами внаслідок процесів

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

біодеградації через метаболічну активність мікроорганізмів, які можуть стати елементом ефективних, економічно вигідних та екологічно безпечних технологій.

Асоціації рослин і мікроорганізмів можуть надати інший вимір існуючим технологіям фіторемедіації та ризоремедіації. Аналіз прикладних аспектів та механізмів дії стійких до забруднювачів мікроорганізмів, що стимулюють ріст рослин сприятиме забезпеченню виживання та росту рослин у забруднених ґрунтах. Стійка біотехнологія з низьким рівнем витрат може бути надзвичайно корисною для рекультивації забруднених ґрунтів в умовах воєнного стану, таким чином підвищуючи їх якість і родючість.

### Література до розділу 5:

1. Парфенюк А.І., Волощук Н.М. Формування фітопатогенного фону в агрофітоценозах. *Агроекологічний журнал*. 2016. № 4. С. 106–114. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog\\_2016\\_4\\_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2016_4_17)
2. Velásquez A.C., Castroverde C., He S.Y. Plant-Pathogen Warfare under Changing Climate Conditions. *Current biology: CB*. 2018. Vol. 28(10), P. R619–R634. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.03.054>
3. Chaloner T.M., Gurr S.J., Bebbler D.P. Plant pathogen infection risk tracks global crop yields under climate change. *Nature Climate Change*. 2020. Vol. 11(8). P. 710–715. DOI: <https://doi.org/10.1101/2020.04.28.066233>
4. Бородай В.В, Колтунов В.А., Парфенюк А.І. Данілкова Т.В. Регуляція фітопатогенного фону в агроценозах картоплі: монографія. К.: Ямчинський О.В., 2020. 329 с.
5. Ma Y., Rajkumar M., Luo Y., Freitas H. Phytoextraction of heavy metal polluted soils using *Sedum plumbizincicola* inoculated with metal mobilizing *Phyllobacterium myrsinacearum* RC6b. *Chemosphere*. 2013. Vol. 93(7). P. 1386–1392. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.077>
6. Enebe M.C., Babalola O.O. The influence of plant growth-promoting rhizobacteria in plant tolerance to abiotic stress: a survival strategy. *Applied microbiology and biotechnology*. 2018. Vol. 102(18). P. 7821–7835. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9214-z>

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

7. Grover M., Bodhankar S., Sharma A., Sharma P., Singh J., Nain L. PGPR mediated alterations in root traits: way toward sustainable crop production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021. Vol. 4. P. 618230.

8. Nies D.H. Efflux-mediated heavy metal resistance in prokaryotes. *FEMS microbiology reviews*. 2003. Vol. 27(2-3). P. 313–339. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-6445\(03\)00048-2](https://doi.org/10.1016/S0168-6445(03)00048-2)

9. Tiwari S., Lata C. Heavy Metal Stress, Signaling, Tolerance Due to Plant-Associated Microbes: An Overview. *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. P. 452. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00452>

10. Chauhan D., Yadav V., Vaculík M., Gassmann W., Pike S., Arif N., Singh V., Deshmukh R., Sahi S., Tripathi D. Aluminum toxicity and aluminum stress-induced physiological tolerance responses in higher plants. *Critical Reviews in Biotechnology*. 2021. Vol. 41. P. 715-730. DOI: <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1874282>

11. Jiang D., Tan M., Wu S. et al. Defense responses of arbuscular mycorrhizal fungus-colonized poplar seedlings against gypsy moth larvae: a multiomics study. *Horticultural Research*. 2021. Vol. 8. P. 245. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00671-3>

12. Tongtong C.Y., Xuchen L., Shuai W., Kai W., Ran X., Xinping C., Tong Z. Ecological Risk Assessment and Environment Carrying Capacity of Soil Pesticide Residues in Vegetable Ecosystem in the Three Gorges Reservoir Area. *Journal of Hazardous Materials*. 2022. Vol. 435. P. 128987. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128987>

13. Alengebawy A., Abdelkhalek S.T., Qureshi S.R., Wang M. Q. Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants: Ecological Risks and Human Health Implications. *Toxics* 2021. Vol. 9(3). P. 42. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>

14. Rostami S, Kamani H, Shahsavani S, Hoseini M. Environmental monitoring and ecological risk assessment of heavy metals in farmland soils. *Hum Ecol Risk Assess Int J*. 2020. Vol. 27(2). P. 392–404. DOI: 10.1080/10807039.2020.1719030.

15 Мазур В.А., Ткачук О.П., Яковець Л.А. Період зберігання зерна – як чинник підвищення його екологічної безпеки / за ред. О. О. Горба, Т. О. Чайки, І. О. Яснолоба. При-

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

родно-ресурсний та енергетичний потенціали: напрями збереження, відновлення та раціонального використання: монографія. Полтава: ПП «Астрая», 2019. 172–179.

16. Guo J.K., Muhammad H., Lv X., Wei T., Ren X.H., Jia H.L., Atif S., Hua L. Prospects and applications of plant growth promoting rhizobacteria to mitigate soil metal contamination: a review. *Chemosphere*. 2020. Vol. 246. P. 125823. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.125823

17. Verma S., Kuila A. Bioremediation of heavy metals by microbial process. *Environ. Technol. Innov.* 2019. Vol. 14. P. 100369. DOI: 10.1016/j.eti.2019.100369

18. Manoj S. R., Karthik C., Kadirvelu K., Arulselvi P.I., Shanmugasundaram T., Bruno B. et al. Understanding the molecular mechanisms for the enhanced phytoremediation of heavy metals through plant growth promoting rhizobacteria: a review. *J. Environ. Manag.* 2020. Vol. 254. P. 109779. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109779

19. Ma Y., Oliveira R.S., Freitas H., Zhang C. Biochemical and molecular mechanisms of plant-microbe-metal interactions: relevance for phytoremediation. *Front. Plant Sci.* 2016. Vol. 7. P. 918. DOI: 10.3389/fpls.2016.00918

20. Rizvi A., Khan M.S. Heavy metal induced oxidative damage and root morphology alterations of maize (*Zea mays* L.) plants and stress mitigation by metal tolerant nitrogen fixing *Azotobacter chroococcum*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. Vol. 157. P. 9–20. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.03.063

21. Joshi P.M., Juwarkar A.A. In vivo studies to elucidate the role of extracellular polymeric substances from *Azotobacter* in immobilization of heavy metals. *Environmental science & technology*. 2009. Vol. 43(15). P. 5884–5889. DOI: <https://doi.org/10.1021/es900063b>

22. Lenart A.M. *In Vitro* effects of various xenobiotics on *Azotobacter chroococcum* strains isolated from soils of southern Poland. *Journal of Environmental Science and Health. Part B*. 2012. Volo. 47(1). P. 7-12. DOI: [10.1080/03601234.2012.601942](https://doi.org/10.1080/03601234.2012.601942)

23. Gradova N.B., Gornova I.B., Eddaudi R., Salina R.N. Use of bacteria of the genus *Azotobacter* for bioremediation of oil-contaminated soils. *Appl Biochem Microbiol.* 2003. Vol. 39. P. 279–281.

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

24. Abo-Amer A.E., Abu-Gharbia M.A., Soltan E.S.M., Abd El-Raheem W.M. Isolation and molecular characterization of heavy metal-resistant *Azotobacter chroococcum* from agricultural soil and their potential application in bioremediation. *Geomicrobiol. J.* 2014. Vol. 31(7). P. 551–561.

25. Moreno J., Vargas-García C., López M.J. Sánchez-Serrano G. Growth and exopolysaccharide production by *Azotobacter vinelandii* in media containing phenolic acids. *Journal of Applied Microbiology.* 1999. Vol. 86. P. 439–445. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.1999.00680.x>

26. Anupama K.S., Paul S. Ex situ and in situ biodegradation of lindane by *Azotobacter chroococcum*. *Journal of environmental science and health. Part. B, Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes.* 2010. Vol. 45(1). P. 58–66. DOI: <https://doi.org/10.1080/03601230903404465>

27. Gaofeng W., Hong X., Mei J. Biodegradation of chlorophenols, a review. *Chem. J. Internet.* 2004. Vol. 6. P. 67–70.

28. Kumar M., Yadav V., Tuteja N., Johri A.K. Antioxidant enzyme activities in maize plants colonized with *Piriformospora indica*. *Microbiology.* 2009. Vol. 155. P. 780–790. DOI: 10.1099/mic.0.019869-0

29. Ergüder T.H., Güven E., Demirer G.N. The inhibitory effects of lindane in batch and upflow anaerobic sludge blanket reactors. *Chemosphere.* 2003. Vol. 50(1). P. 165–169. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(02\)00552-0](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(02)00552-0)

30. Chen B., Luo S., Wu Y. J., Ye J. Y., Wang Q., Xu X. M. et al. The effects of the endophytic bacterium *Pseudomonas fluorescens* Sasm 05 and IAA on the plant growth and cadmium uptake of *Sedum alfredii* hance. *Front. Microbiol.* 2017. Vol. 8. P. 2538. DOI: 10.3389/fmicb.2017.02538

31. Etesami H. Bacterial mediated alleviation of heavy metal stress and decreased accumulation of metals in plant tissues: mechanisms and future prospects. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2018. Vol. 147. P. 175–191. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.08.032

32. Chen M.J., Li Y.F., Jiang X.R., Zhao D.R., Liu X.F., Zhou J. L. et al. Study on soil physical structure after the bioremediation of Pb pollution using microbial-induced carbonate precipitation methodology. *J. Hazard. Mater.* 2021. Vol. 411. P. 125103. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.125103



## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

33. Vejan P., Abdullah R., Khadiran T., Ismail S., Boyce A.N. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability—a review. *Molecules*. 2016. Vol. 21. P. 573. DOI: 10.3390/molecules21050573

34. Rizvi A., Khan M.S. Biotoxic impact of heavy metals on growth, oxidative stress and morphological changes in root structure of wheat (*Triticum aestivum* L.) and stress alleviation by *Pseudomonas aeruginosa* strain CPSB1. *Chemosphere*, 2017. Vol. 185, P. 942–952. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.07.088

35. Gorovykh O.G., Budko S.V., Saevich K.F. Experience in using the biodestructor "Devoroil" for cleaning the soils of the Brest branch of the railway from oil pollution. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2022. Vol. 2. P. 81–87.

36. Setlhare B. (2017). Bacterial degradation of 2,4-dichlorophenol: catabolic genes detection and enzyme characterization. (Doctoral dissertation).

37. Aislabie J., Deslippe J.R. Soil microbes and their contribution to soil services // *Ecosystem services in New Zealand – conditions and trends*. New Zealand: Manaaki Whenua Press, 2013. P. 112–161

38. Adhikari K., Hartemink A.E. Linking soils to ecosystem services – A global review. *Geoderma*. 2016. Vol. 262. P. 101–111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009>

39. Sacca A., Caracciolo A.B., Di Lenola M., Grenni P. Ecosystem services provided by soil microorganisms // *Soil Biological Communities and Ecosystem Resilience, Sustainability in Plant and Crop Protection*. Springer Int. Publi., 2017. P. 9–24. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-63336-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-63336-7_2)

40. Патика В.П., Гнатюк Т.Т., Булеца Н.М. та ін. Біологічний азот у системі землеробства. *Землеробство*. 2015. № 2. С. 12–20.

41. Городиська І.М., Ліщук А.М., Чуб. А.О., Монарх В.В. Особливості органічного насінництва сої в контексті євроінтеграції України: *Збірник наукових праць ВНАУ*. 2018. №9. С.89–101.

42. Maksimov I.V., Abizgil'dina R.R. and Pusenkova L.I. Plant growth promoting rhizobacteria as alternative to chemical crop protectors from pathogens. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2011. Vol. 47 (4). P. 333–345.

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

43. Javaid A., Shoaib A. Allelopathy for the management of phytopathogens, in *Allelopathy. Current Trends and Future Applications*. Berlin: Springer-Verlag, 2013. P. 299–319,

44. Patni B. et al. Rice allelopathy in weed management—an integrated approach. *Cellular and Molecular Biology*. 2018. Vol. 64 (8). P. 84–93.

45. Postolaky O. et al. Streptomycetes and micromycetes as perspective antagonists of fungal phytopathogens. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*. 2012. Vol. 77 (3). P. 249–257;

46. Moretti L.G. et al. Effects of growth-promoting bacteria on soybean root activity, plant development and yield. *Agronomy Journal*. 2020. Vol. 112. P. 418–428

47. Білявська Л.Г., Білявський Ю.В. Взаємодія сучасних сортів сої з біопрепаратами комплексної дії та її вплив на урожайність. *Мікробіологічний журнал*. 2016. 78. № 3. С. 61-68

48. Григор'єва О.М. Продуктивність сої залежно від агротехнічних заходів її вирощування в умовах північного степу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України*. 2014. Вип. 21. С. 115–121

49. Шепілова Т.П. Вплив біопрепаратів на продуктивність сої у Північному Степу України. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2019. Вип. 94. Част. 1. С. 255-264

50. Карпенко В.П., Івасюк Ю.І., Грицаєнко З.М. Особливості розвитку еколого-трофічних груп мікроорганізмів ризосфери сої за використання гербіциду Фабіан, регулятора росту рослин Регоплант і мікробіологічного препарату Ризобофіт. *Вісник Дніпропетровського державного агроекономічного університету*. 2016. № 4 (42). С. 29–33

51. Maksimov I.V., Abizgil'dina R.R. and Pusenkova L.I. Plant growth promoting rhizobacteria as alternative to chemical crop protectors from pathogens. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2011. Vol. 47 (4). P. 333–345.

52. Gabriel P. et al. Biotechnological potential of soybean plant growth-promoting rhizobacteria. *Revista Caatinga*. 2021. Vol. 34. P. 328-338

53. Aslam F. et al. Allelopathy in agro-ecosystems: a critical review of wheat allelopathy – concepts and implications. *Chemoecology*. 2017. Vol. 27. P. 1–24.

## РОЗДІЛ 5. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

---

54. Beneduzi A., Ambrosini A. and Passaglia L.M.P. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and Molecular Biology*. 2012. Vol. 35 (4). P. 1044–1051

55. Ulloa-Ogaz A.L., Muñoz-Castellanos L.N. and Nevarez-Moorillon G.V. Biocontrol of phytopathogens: antibiotic production as mechanism of control, in the battle against microbial pathogens. *Basic Science, Technological Advances and Educational Programs, FOR-MATEX Microbiology Series*. 2015. Vol. 1 (5). P. 305–309.

56. Latif S., Chiapusio G. and Weston L.A. Allelopathy and the role of allelochemicals in plant defense. *Advances in Botanical Research*. 2017. Vol. 82. P. 19–54

57. Шерстобоева Е.В., Чабанюк Я.В., Федак Л.И. Биоіндикація біологічного стану ґрунту. *Сільськогосподарська мікробіологія: Міжвідомчий тематичний науковий збірник*. Чернівці. 2008. Вип. 7. С. 48-56.

58. Verehovaia Yu.V. et al. Variety specificity of the effects of rhizobacteria on nitrogen-fixing symbiosis and mineral nutrition of soybeans under conditions of agrocenosis. *Agricultural biology*. 2018. Vol. 53(5). P. 977-993.

59. Патица В.П., Гнатюк Т. Т., Булеца Н. М. та ін. Біологічний азот у системі землеробства. *Землеробство*. 2015. № 2. С. 12–20.

60. Малиновская И.М. К вопросу о времени проведения почвенных микробиологических исследований. *Агрохімія і ґрунтознавство: Міжвідомчий тематичний науковий збірник*. 2015. Вип. 82. С. 27-32

61. Макарова Л.Е., Смирнов В.И., Клыба Л.В., Петрова И.Г., Дударева Л.В. Роль аллелопатических соединений в регуляции и формировании бобоворизобактериального симбиоза. *Прикладная биохимия и микробиология*. 2012. Т. 48. № 4. С. 394–403

62. Di Benedetto N.A., Corbo M.R., Campaniello D., Cataldi M.P., Bevilacqua A., Sinigaglia M., Flagella Z. The role of plant growth promoting bacteria in improving nitrogen use efficiency for sustainable crop production: a focus on wheat. *AIMS Microbiology*. 2017. Vol. 3. P. 413–434. DOI: <https://doi.org/10.3934/microbiol.2017.3.413>

---

## РОЗДІЛ 6.

### ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

*Безноско І.В.*

**Ключові слова:** *K, r та L життєві стратегії, анаморфні і телеморфні стадії, мікроміцети, хламідоспори, конідії, інтенсивність спорутворення, частота трапляння, агроценози зернових, технології вирощування, стійкі екосистеми.*

Рослини і мікроорганізми знаходяться у складних трофічних зв'язках. Велика кількість фітопатогенних грибів, що паразитують на рослинах сільськогосподарських культур належать до широкоспеціалізованих некротрофів. Вони здатні жити на численних видах рослин, зберігатись у вигляді склероціїв у ґрунті, хламідоспор, міцелію та пікнід в рослинних рештках і насінні. Крім того, фітопатогенні гриби, що паразитують на рослинах, характеризуються високою інтенсивністю спорутворення в період вегетації. Це свідчить про широкий спектр та чисельність інфекційних структур цих грибів, значні можливості їх накопичення та збереження в агрофітоценозах, що може призводити до виникнення біологічного забруднення в агроекосистемах [1; 2].

В умовах антропогенного навантаження та надмірного застосування хімічних та біологічних фунгіцидів зростають темпи поширення патогенних мікроорганізмів, утворюються їхні резистентні форми з посиленою агресивністю. Зазначені чинники в значній мірі призводять до втрати стійкості рослин різних сортів до хвороби, що спричинює зниження біобезпеки виробництва рослинної продукції. Тому у світі все більше уваги приділяють органічному землеробству, яке базується на регуляції фітопатогенних мікроорганізмів в агроценозах з метою зниження біологічного забруднення агроекосистем [3; 4].

Фітопатогенні гриби використовують велику різноманітність життєвих стратегій і способів, якими взаємодіють із рослинами. Унаслідок цього можна спостерігати значні відмінності у наборах видів патогенних грибів, пов'язаних із різними видами рослин [5].

У життєвому циклі грибів представлені дві фази: статева (репродуктивна) – телеоморфна і безстатева (вегетативна) –

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

---

анаморфна, яка утворює структури безстатевого розмноження (спорангіоспори, конідії). Анаморфи і теліоморфи грибів здатні змінюватися впродовж вегетаційного періоду за впливу екологічних чинників [6].

Отже, важливим аспектом дослідження поширення популяцій мікроміцетів в агроценозах сільськогосподарських культур є не лише визначення їх функціональних параметрів і таксономічних характеристик, а й вивчення змін у їх життєвих циклах за впливу різних технологій вирощування. Обґрунтування та розроблення показників, які характеризують зміни у життєвих циклах мікроміцетів в агроценозах за різних технологій вирощування культур дадуть можливість вдосконалити систему оцінювання сортів культурних рослин за взаємодії із фітопатогенними мікроміцетами. Це забезпечить зниження інфекційного навантаження в агроценозах сільськогосподарських рослин та сприятиме підвищення якості рослинної сировини.

### ***Зміни у життєвих циклах мікроміцетів за використання різних технологій вирощування.***

Мікроміцети представлені різними систематичними одиницями, які належать до певних екологічних груп, що відрізняються за типом живлення і взаємодією з іншими організмами. Серед них є сапрофіти, що руйнують рослинні і тваринні рештки, паразити рослин (факультативні чи облігатні), мікоризоутворювачі. В агроценозах сільськогосподарських культур зустрічаються всі класи грибів: аскоміцети, базидіоміцети, дейтеромицети, які в період життєвого циклу характеризуються міцеліальною будовою, швидким ростом верхівки міцелію у довжину, активним метаболізмом. Все це сприяє швидкій колонізації субстрату, та можливістю продукування антибіотичних і токсичних речовин, що підвищує їхню конкурентоздатність [7; 8].

Співвідношення біомаси спор і міцелію залежить від типу ґрунту і від конкретних екологічних умов. За впливу антропогенних чинників (внесення різних норм добрив в ґрунт або обприскування фунгіцидами по листку) сприяє уповільненню метаболізму грибів і відбувається утворення хламідоспор, склероціїв або інших форм, що знаходяться у стані спокою. Відомо, що ґрунти, які містять значний запас спочиваючих спор грибів характеризуються недостатньою кількістю поживних

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

---

речовин, низькою вологістю, температурою – абіотичні чинники. Водночас як за дією біотичних чинників – метаболітів ґрунтових мікроорганізмів, спричинюється вихід спор із стану спокою, проростання та розвиток міцелію [9].

Мікроміцети мають ряд морфологічних, фізіологічних та генетичних особливостей, які визначають специфіку їх взаємовідношень з навколишнім середовищем. Так, міцеліальна будова дає їм високий ступінь контакту із навколишнім середовищем. Гриби швидко ростуть і розмножуються, що дозволяє їм в короткий термін заселяти значні маси субстрату [10]. Висока активність їх метаболізму проявляється в широкому інтервалі дії різноманітних екологічних факторів [11; 12].

Дослідженнями J. Kelly, доведено, що природні угруповання мікроміцетів мають потенційну здатність до саморегуляції і адаптації до змін навколишнього середовища [13]. Важливою умовою пристосування елементарних структур мікроценозів до несприятливих факторів є принцип взаємозаміни: якщо одна популяція гине, то менш чутлива до цього фактору починає домінувати [14].

Сільськогосподарські культури та технології їх вирощування впливають не тільки на зміну видового складу мікроорганізмів ґрунту, але на розвиток вегетативних клітин, проростання спор, ріст, розмноження і виживання окремих видів [15].

У традиційному сільському господарстві за систематичного використання мінеральних добрив та хімічних засобів захисту рослин у ґрунті агроценозів можуть виникати сайд-ефекти: зміна структури мікробіому, зниження його диверзитності, порушення функціональних параметрів [16; 17].

Внесення гною як органічного добрива у ґрунт, з одного боку, покращує його родючість, сприяє збільшенню продуктивності культурних рослин, а з іншого, може бути джерелом поширення антибіотикорезистентних мікроорганізмів, які становлять небезпеку не лише для навколишнього природного середовища, а також є потужним чинником ризику для здоров'я людини [18; 19]. Тому актуальним завданням дослідження є з'ясування зміни життєвих циклах мікроміцетів за взаємодії із рослинами сільськогосподарськими культур в умовах різних технологій вирощування. Це дозволить знизити біологі-

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

---

чне забруднення агроценозів зернових колосових культур та зменшити застосування хімічних фунгіцидів у посівах.

Так як, ризосферний ґрунт є одним із найважливіших учасників алелопатичної взаємодії рослин, в ньому відбувається обмін метаболітами між культурними рослинами та мікроміцетами. Сорти та гібриди сільськогосподарських рослин здатні істотно впливати на структуру і функціонування мікробних популяцій у ризосферному ґрунті завдяки сполукам, які виділяються з кореневої системи культурних рослин, чисельність різних еколого-трофічних і фізіологічних груп мікроорганізмів та їх видове різноманіття. Кількісний склад мікроорганізмів у ґрунті залежить від багатьох чинників, серед яких важливу функцію виконують технології вирощування культур, екзометаболіти рослин та ґрунтово кліматичні умови.

В останні десятиріччя для вирішення різних аспектів проблеми біотестування природних екосистем все частіше залучаються мікроміцети [20]. Значна увага приділяється ґрунтовим мікроміцетам як тест-організмам для якісної і кількісної оцінки дії різних видів антропогенного забруднення та розглядається можливість їх використання для екологічних прогнозів. Накопичення в середовищі забруднювачів з мутагенними властивостями створює передумови для збільшення темпів мутагенезу, що у фітопатогенних мікроорганізмів може привести до появи нових рас з підвищеною агресивністю. У зв'язку з цим антропогенно змінені біоценози, де відбувається персистентне виникнення та резервація потенційно небезпечних патогенних рас грибів, потребують проведення постійного вивчення зміни у життєвих циклах популяцій патогенних грибів [21].

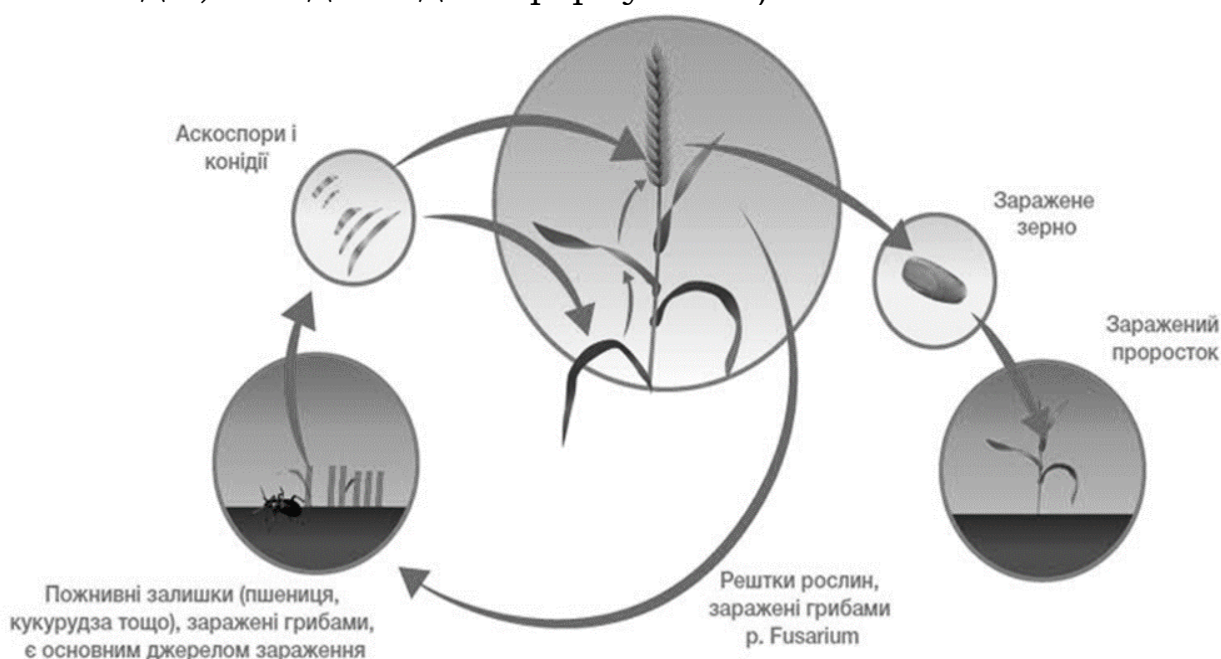
**Еволюційно-екологічні ознаки життєвих циклів грибів роду *Fusarium* spp. за використання різних технологій вирощування.**

У всьому світі основною проблемою є забруднення харчових продуктів фузаріозними мікотоксинами, зумовлене розвитком фузаріозів зернових культур. Фузаріоз зерна за багатьма аспектами є унікальним захворюванням рослин, що й зумовлює значні труднощі його вивчення. Однією з таких особливих рис є специфічна етіологія, а саме участь у патогенезі комплексу представників різних видів *Fusarium*. Ураження рослин фузарієвими грибами не лише призводить до втрат урожаю,

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

але й значно погіршує посівну і харчову якість зерна, тому у всьому світі розглядається як одне з найнебезпечніших захворювань сільськогосподарських культур [22; 23].

Гриби роду *Fusarium* spp. частіше існують в анаморфній (нестатевої) стадії розвитку, що включає три основні фази: проростання конідій, ріст і розвиток вегетативного міцелію та спороношення, тобто формування конідій та хламідоспор (у тих видів, які здатні до їх формування).



**Рис. 1. Анаморфна (нестатева) стадія розвитку грибів роду *Fusarium* spp.**

Джерело: [22].

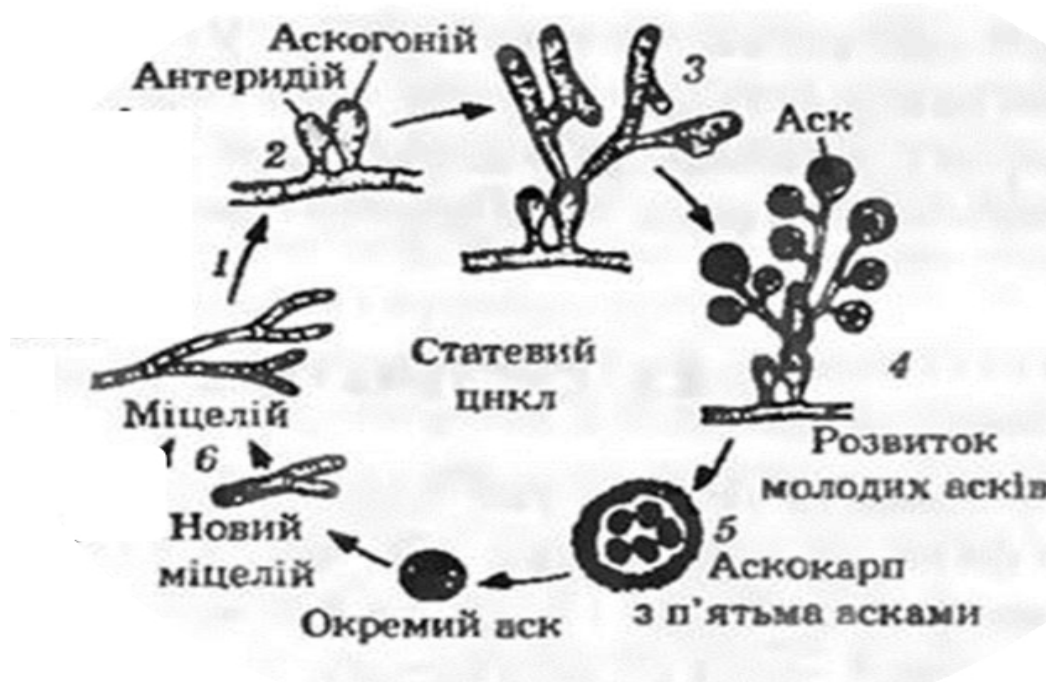
Проте трапляється і телеоморфна (статева або сумчаста) стадія. Статевий цикл наявний менше ніж у 20 % представників роду *Fusarium* spp., тоді як більшості фузарієвих грибів притаманні лише конідіальне спороношення і відсутність статевої стадії.

Види фузарієвих грибів, у яких у життєвому циклі наявна така стадія, у кінці вегетаційного періоду, а також після збирання врожаю на уражених рослинах формують плодові тіла (перитеції), в яких містяться аски з аскоспори. Статева стадія забезпечує грибам рекомбінацію генетичного матеріалу, що може призводити до хромосомних перебудов. Завдяки цьому забезпечується генетична мінливість грибів, що дозволяє їм постійно пристосовуватися до умов довкілля, набувати резис-



## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

тентності до фунгіцидів та інших засобів. Зважаючи на те, що біологія представників роду *Fusarium* зумовлена технологіями вирощування, тому значні зусилля вчених спрямовані на вивчення морфологічних особливостей, біології, біохімії, фізіології, генетики грибів роду *Fusarium*, а також пошук шляхів обмеження їхньої чисельності в агрофітоценозах.



**Рис. 2. Телеоморфна (статева або сумчаста) стадія розвитку грибів роду *Fusarium* spp.**

Джерело: [23].

Отже, актуальним завданням дослідження є визначення зміни життєвих стратегій мікроміцету роду *Fusarium* spp. у взаємодії із рослинами сільськогосподарських культур, вирощеними за різних технологій. Використання результатів наукової роботи дасть можливість отримати нові знання про екологічну роль сорту рослин та технологій їх вирощування у формуванні співвідношення репродуктивної та генеративної фази розвитку фітопатогенних мікроміцетів. Це надасть можливість вдосконалити систему оцінювання сортів культурних рослин за взаємодії із фітопатогенними мікроміцетами, доповнивши її показниками, які характеризують зміни у життєвих стратегіях мікроміцетів за використання різних технологій ви-

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

---

рощування, що забезпечить зниження біологічного забруднення в агроценозах сільськогосподарських культур.

### **Зміни у життєвих циклах мікроміцетів у посівах сільськогосподарських культур за впливу технологій вирощування рослин.**

За впливу різних технологій вирощування в агроценозах сільськогосподарських культур утворюються резистентні форми мікроміцетів із посиленою агресивністю. Фітопатогенні гриби використовують велику різноманітність життєвих стратегій і способів, якими взаємодіють із рослинами. Тому актуальним завданням є визначення ролі сорту сільськогосподарських культур та технологій їх вирощування у формуванні інфекційних структур фітопатогенних мікроміцетів. Дослідження проводили впродовж 2020–2022 рр. на базі стаціонарних і тимчасових польових дослідів, які розташовані у Сквирській дослідній станції органічного виробництва, Носівській селекційно-дослідній станції та на приватному господарстві органічного виробництва ФОП Шанойло.

Впродовж вегетаційного періоду були використані різні системи удобрення під посівами пшениці озимої на базі стаціонарних і тимчасових польових дослідів. Органічна технологія характеризувалася двома системами удобрення і захисту: перша – внесенням гумінового добрива і триходерміну (приватне господарство органічного виробництва ФОП Шанойло Т.В.), друга без внесення препаратів, тільки полив водою (Сквирська дослідна станція органічного виробництва). Традиційна технологія вирощування (Сквирська дослідна станція органічного виробництва), де вносили лише препарати хімічного походження. За змішаною технологією вирощування (Носівська селекційно-дослідна станція) застосовували як хімічні препарати так і препарати біологічного походження.

В агроценозах сільськогосподарських культур вирощених на полях дослідних станцій ідентифіковано 150 видів фітопатогенних мікроміцетів, які характеризувалися різною частотою трапляння (5–80%). Спостерігали зміни життєвих циклів грибів роду *Fusarium* spp., які утворювали як анаморфні, так і телеморфні стадії мікроміцетів. Це свідчить, що сорти сільськогосподарських культур і технології їх вирощування своїми біологічно активними речовини здатні по-різному впливати на поширення фітопатогенних мікроміцетів.

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

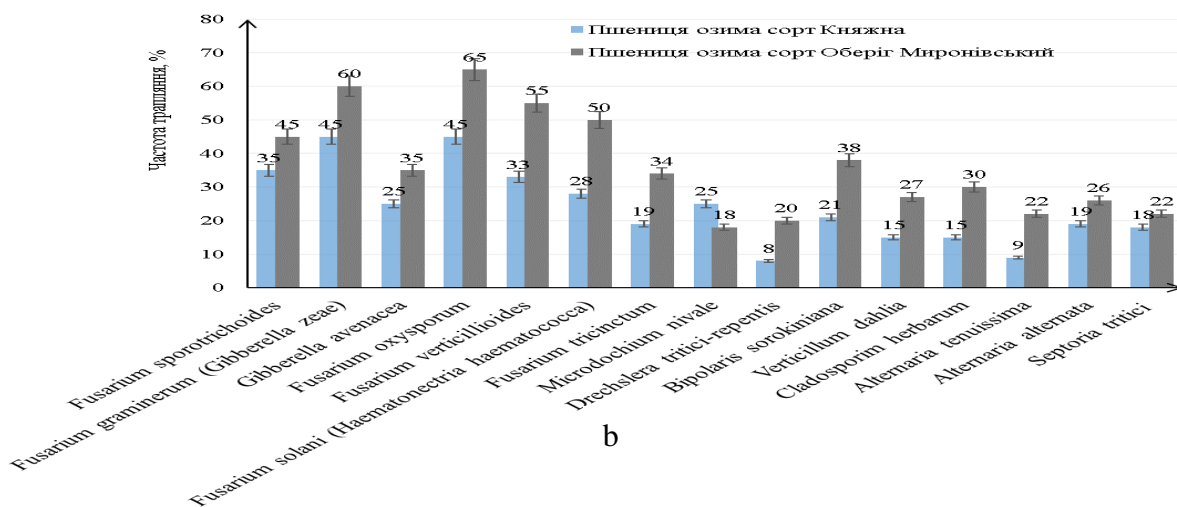
### **Частота трапляння фітопатогенних мікроміцетів та зміна їх життєвих циклів у посівах пшениці озимої та вівсу за використання змішаної технології вирощування.**

Визначено частоту трапляння мікроміцетів під час онтогенезу різних сільськогосподарських культур: пшениці озимої сортів Княжна, Оберіг Миронівський та вівсу сортів Світанок, Тембр на базі стаціонарних польових дослідів, які розташовані у Носівській селекційній дослідній станції. Протягом онтогенезу сільськогосподарських рослин використовували змішану систему удобрення і захисту посівів, де використовували: протруйники, фунгіциди, гербіциди, інсектициди та ріст стимулюючі препарати хімічного та біологічного походження.

Частота трапляння мікроміцетів за змішаної технології вирощування протягом онтогенезу різних сортів пшениці озимої істотно різнилася і становила від 5 до 80% (рис. 3)

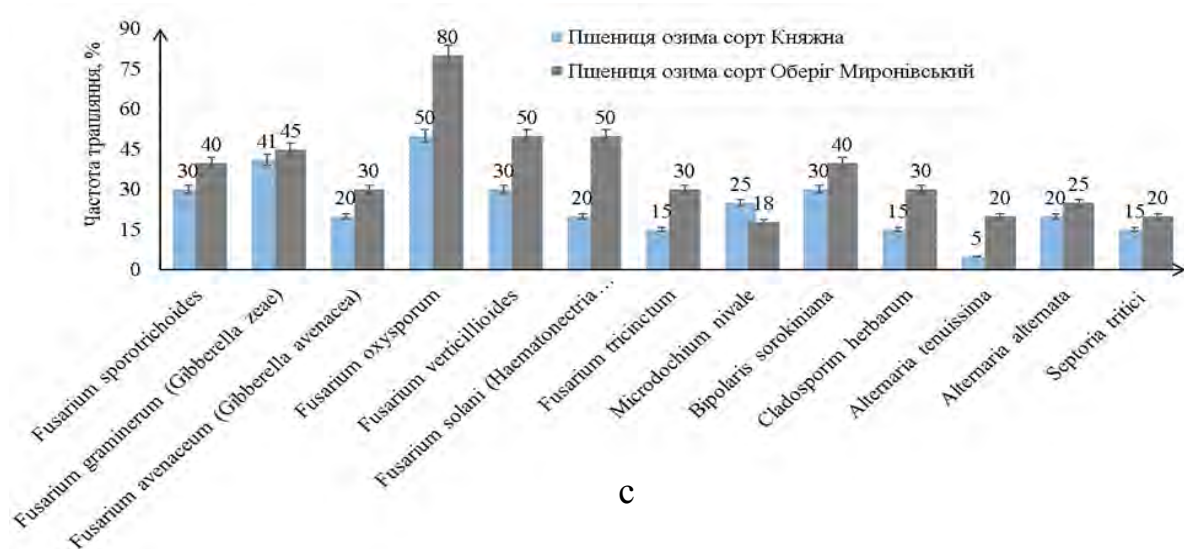


a



b

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР



**Рис. 3. Частота трапляння мікоміцетів за змішаної технології вирощування в агроценозах пшениці озимої: а – фаза кущення, б – фаза колосіння, с – фаза досягання (2020–2022 рр.)**

Джерело: розроблено автором на основі власних досліджень.

У фазі кущення на різних сортах пшениці озимої паразитувало 14 видів фітопатогених мікроміцетів, які характеризувалися різною частотою трапляння від 5% на сорті Княжна до 34% на сорті Оберіг Миронівський. Мікроміцети були представлені 6 видами роду *Fusarium* spp, а саме: *F. sporotrichoides*, *F. gramineum*, *F. avenaceum*, *F. oxysporum*, *F. verticillioides*, *F. solani*. Також були представлені види роду *Alternaria* spp., а саме: *A. tenuissima*, *A. alternata*. Та види фітопатогених мікроміцетів такі як: *Drechslera tritici-repentis*, *Erysiphe graminis*, *Bipolaris sorokiniana*, *Verticillum dahlia*, *Cladosporium herbarum* та *Septoria tritici*. Домінуючими видами були *Bipolaris sorokiniana*, *A. tenuissima* та *F. oxysporum*, де їх частота трапляння сягала до 34%. Усі види мікроміцетів мали анаморфну стадію розвитку (рис. 3-а).

У фазу колосіння на рослинах різних сортів пшениці озимої спостерігали збільшення кількості видів мікроміцетів – 15, та їх частота трапляння зростала до 60%. Домінуючими видами були гриби роду *Fusarium* spp, де їх частота трапляння зростає у 2 рази порівняно з фазою кущення. Гідротермічний коефіцієнт був у цей період 1,3, що свідчить про високе вологоза-

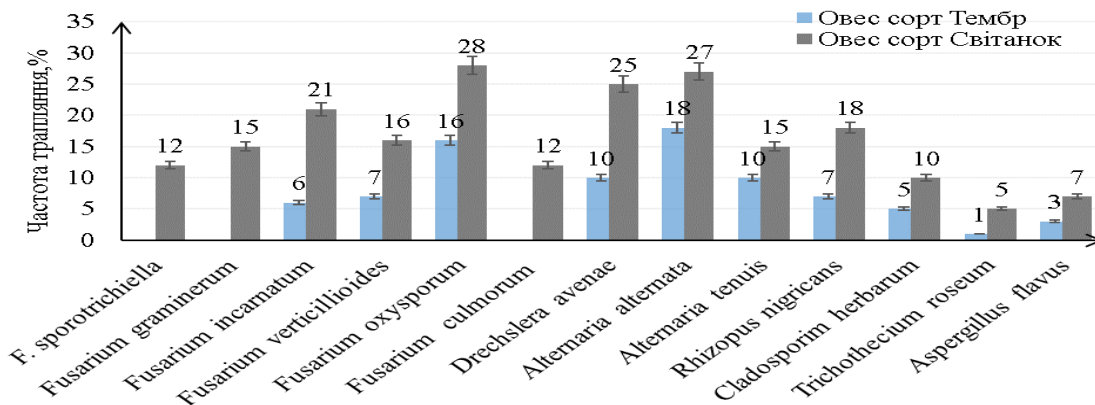
## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

безпечення. Серед видів роду *Fusarium* spp. на сортах пшениці озимої з'явилася телеморфна стадія *Gibberella zeae* виду *F. graminearum* та *Haematonectria haematococca* виду *F. solani*, також одна анаморфна стадія *F. avenaceum* була представлена лише в телеморфній стадії *Gibberella avenacea* та з'явився вид *Microdochium nivale* в анаморфній стадії (рис. 3-б).

Найменшу кількість видів фітопатогенних мікроміцетів у посівах пшениці озимої спостерігали у фазу досягання, їх кількість – 13 видів, але їх частота трапляння зростала до 80%. Мікроміцети виду *F. avenaceum*, *F. solani* та *F. graminearum* зустрічалися в анаморфній і телеморфній стадіях. Домінуючим видом був *F. oxysporum*, що характеризувався високою частотою трапляння на сорті Княжна – 50%, а сорті Оберіг Миронівський – 80%. Це свідчить, що сорти пшениці озимої своїми біологічно активними речовини здатні по-різному впливати на поширення фітопатогенних мікроміцетів (рис. 3-с).

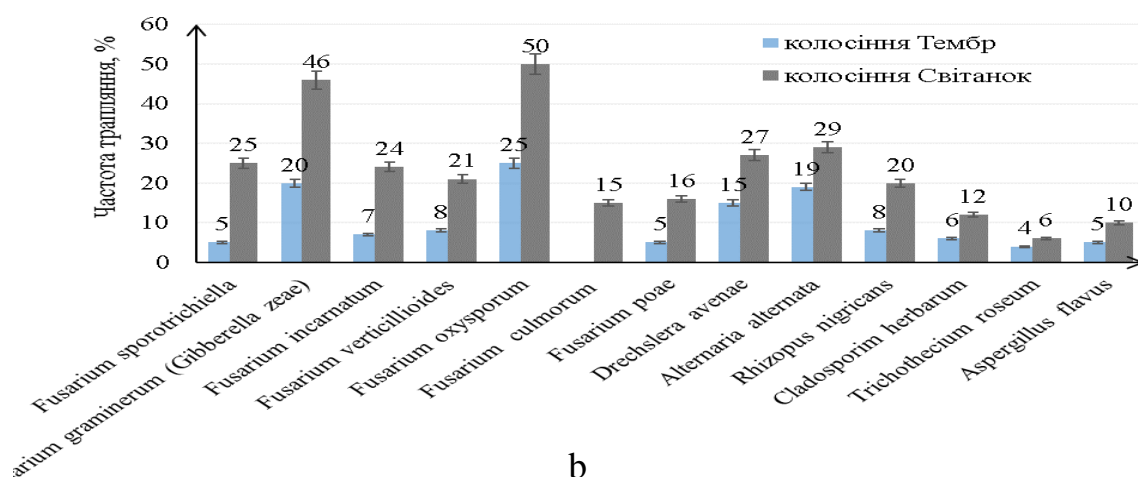
Також на полях, які розташовані у Носівській селекційній дослідній станції визначено частоту трапляння мікроміцетів під час онтогенезу вівсу за змішаної технології вирощування. Ідентифіковано 16 видів фітопатогенних мікроміцетів, які характеризувалися різною частотою трапляння від 5 % на сорті Тембр до 30% на сорті Світанок (рис. 4).

У фазі куцнення зустрічалось 13 видів фітопатогенних мікроміцетів, які різнилися залежно від сорту вівса. На сорті Тембр паразитувала істотно менше видів, які характеризувалися значно меншою частотою трапляння від 1 до 18%, порівняно з сортом Світанок, де їх частота трапляння досягала 28%.

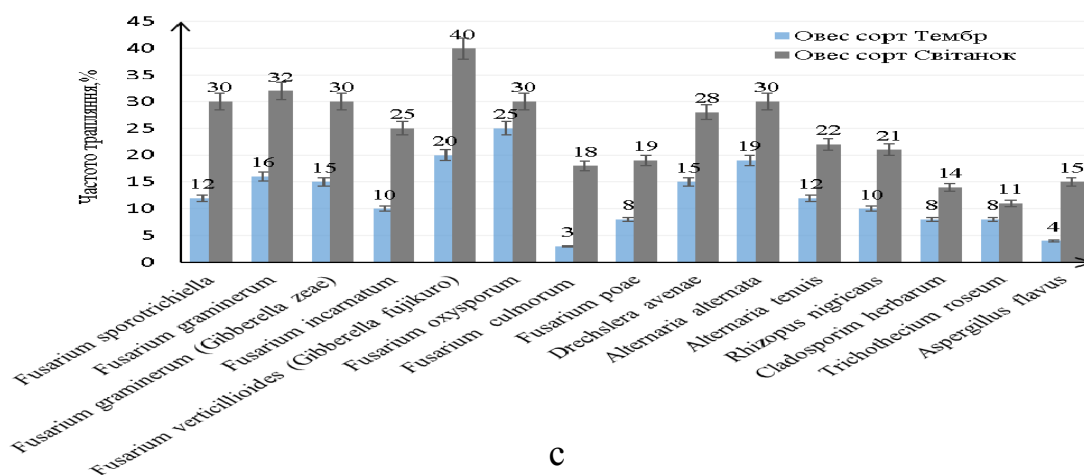


а

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР



b



c

**Рис. 4. Частота трапляння мікроміцетів за змішаної технології вирощування в агроценозах вівса: а – фаза кущення, б – фаза колосіння, с – фаза досягання (2020–2022 рр.)**

Джерело: розроблено автором на основі власних досліджень.

У посівах ячменю ярого паразитувало 6 видів роду *Fusarium* spp, а саме на сорті Світанок види: *F. sporotrichiella*, *F. gramineum*, *F. incarnatum*, *F. verticillioides*, *F. oxysporum*, *F. culmorum*, а на сорті Тембр три види: *F. verticillioides*, *F. oxysporum*, *F. incarnatum*. Два види роду *Alternaria* spp., а саме: *A. alternata*, *A. tenuis*. Також зустрічалися види фітопатогених мікроміцетів такі як: *Drechslera avenae*, *Rhizopus nigricans*, *Cladosporium herbarum*, *Trichothecium roseum*, *Aspergillus flavus*. Домінуючими були види *F. oxysporum*, *A. alternate*, *Drechslera avenae*, де їх частота трапляння становила від 10% на сорті Тембр до 28% на сорті Світанок. Були присутні лише анаморфні стадії мікроміцетів (рис. 4–а).

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

---

У фазу колосіння, де гідротермічний коефіцієнт був найвищий і становив 1,3, що характеризується високим вологозабезпеченням і є найсприятливішим для розвитку патогенів. Це сприяло до збільшенню частота трапляння мікроміцетів на рослинах різних сортів вівса, яка досягала до 50%. Серед грибів роду *Fusarium* spp у фазі колосіння з'явилася телеморфна стадія *F. gramineum* - *Gibberella zeae* (рис. 4–b).

У фазі досягання, де гідротермічний коефіцієнт становив 0,6, що характеризується недостатнім зволоженням, спричинило утворення телеморфних стадій грибів роду *Fusarium* spp *Gibberella zeae* та *Gibberella fujikuro*, але анаморфні стадії даних грибів були теж присутні. Кількість видів мікроміцетів збільшувалася – 15, а частота трапляння майже не зросла і сягала до 40% (рис. 4–с).

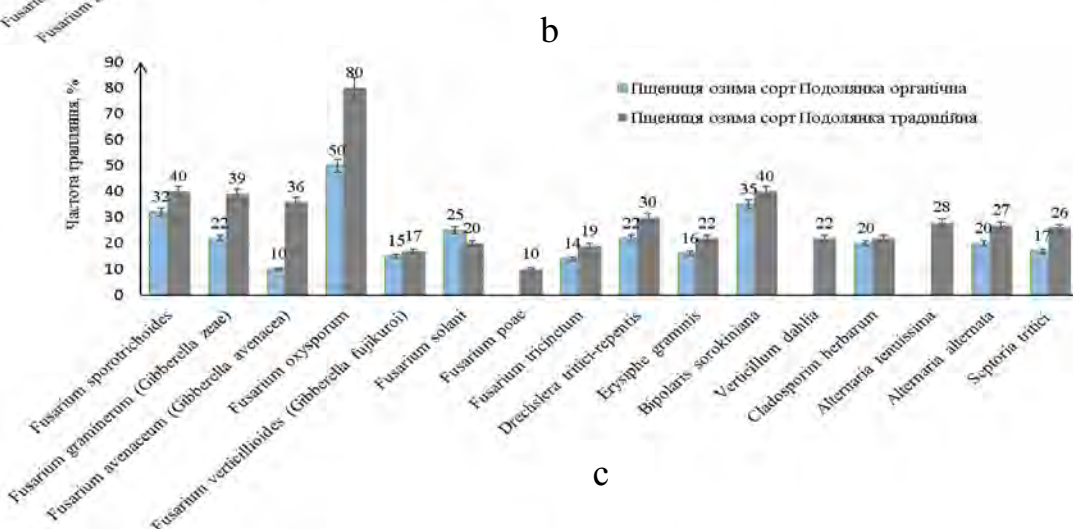
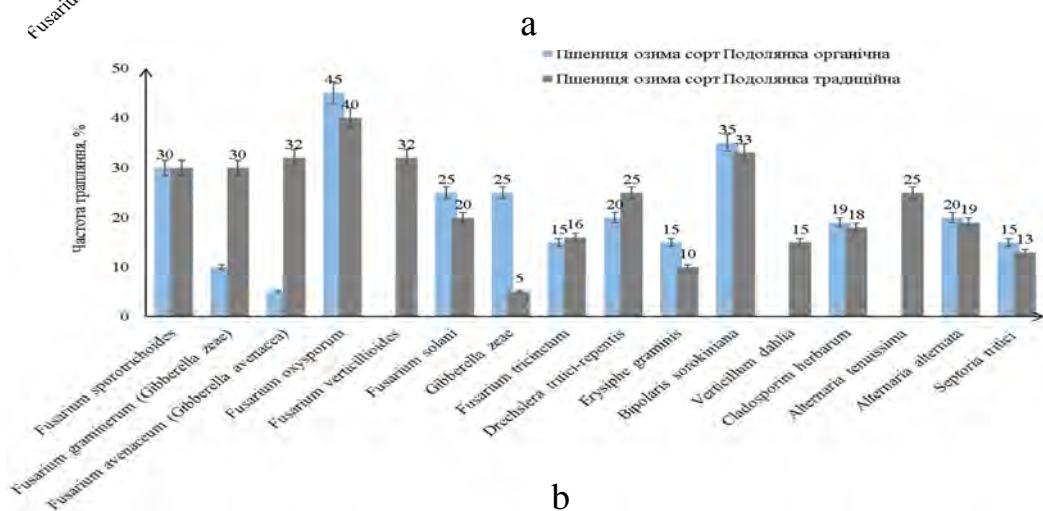
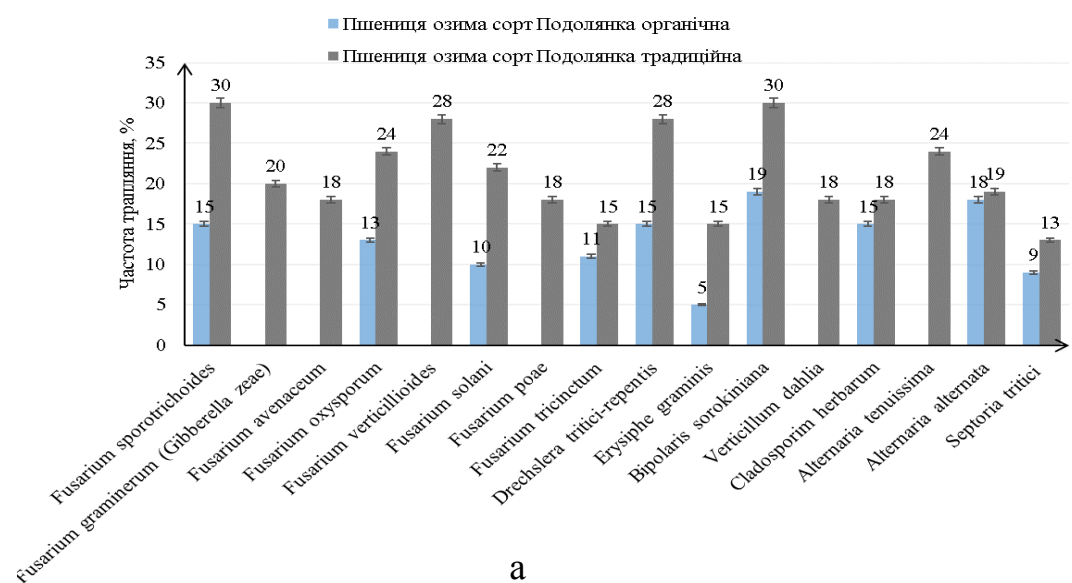
Отже, протягом вегетаційного періоду на полях Носівської дослідної станції у посівах пшениці озимої та вівсу за змішаної технології вирощування спостерігали зміни життєвих циклів грибів роду *Fusarium* spp., які утворювали як анаморфні, так і телеморфні стадії мікроміцетів, але переважала анаморфна стадія. Це свідчить, що сорти пшениці озимої та вівса за змішаної технології вирощування своїми біологічно активними речовинами здатні по-різному впливати на поширення фітопатогенних мікроміцетів та сприяти інтенсивного утворення інфекційних структур.

**Частота трапляння фітопатогенних мікроміцетів та зміна їх життєвих циклів у посівах пшениці озимої, ячменю ярого та сої на полях Сквирської дослідної станції.**

Також дослідження були проведені на базі стаціонарних польових дослідів, які розташовані у Сквирській дослідній станції органічного виробництва, що характеризувалася високою вологістю на ранніх етапах онтогенезу, де ГТК був 1,8 і достатньою зволоженістю на пізніх етапах онтогенезу, ГТК – 0,9. Це сприяло розповсюдженню фітопатогенних мікроміцетів в посівах сільськогосподарських культур.

Визначено частоту трапляння мікроміцетів під час онтогенезу пшениці озимої сорту Подолянка за двома технологіями вирощування: традиційна (внесення гербіциду і фунгіциду – хімічних речовин) та органічна (без внесення добрив, лише полив водою) (рис. 5).

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР



**Рис. 5. Частота трапляння мікоміцетів за органічної та традиційної технології вирощування в агроценозах пшениці озимої: а – фаза кущання, б – фаза колосіння, в – фаза досягання (2020–2022 рр.)**

Джерело: розроблено автором на основі власних досліджень.



## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

---

За традиційного вирощування пшениці озимої у фазі кушення зустрічалось 16 видів фітопатогенних мікроміцетів, які характеризувалися різною частотою трапляння від 13 до 30%. Мікроміцети були представлені 8-ма видами роду *Fusarium* spp, а саме: *F. sporotrichoides*, *F. gramineum*, *F. avenaceum*, *F. verticillioides*, *F. oxysporum*, *F. tricinctum*, *F. solani*, *F. poae*; двома видами роду *Alternaria* spp., а саме: *A. alternata*, *A. tenuissima* також зустрічалися види фітопатогенних мікроміцетів такі як: *D. tritici-repentis*, *E. graminis*, *B. sorokiniana*, *V. dahlia*, *C. herbarum* та *S. tritici*. Домінуючими видами були: *F. sporotrichoides*, *F. verticillioides*, *F. oxysporum*, *B. sorokiniana*, частота трапляння яких становила в середньому 29%. Була присутня телеморфна стадія *F. gramineum* - *Gibberella zeae* (рис. 5-а).

За органічної технології вирощування пшениці озимої у фазі кушення зустрічалось 10 видів фітопатогенних мікроміцетів, які характеризувалися різною частотою трапляння від 5 до 19%. Мікроміцети були представлені 5-ма видами роду *Fusarium* spp, а саме: *F. sporotrichoides*, *F. verticillioides*, *F. oxysporum*, *F. tricinctum*, *F. solani*; також зустрічалися види фітопатогенних мікроміцетів такі як: *D. tritici-repentis*, *E. graminis*, *B. sorokiniana*, *C. herbarum*, *A. alternata* та *S. tritici*. Серед зазначених мікроміцетів домінував вид *B. sorokiniana*, що характеризувалася високою частотою трапляння понад 19%. Були присутні лише анаморфні стадії мікроміцетів (рис. 5-а).

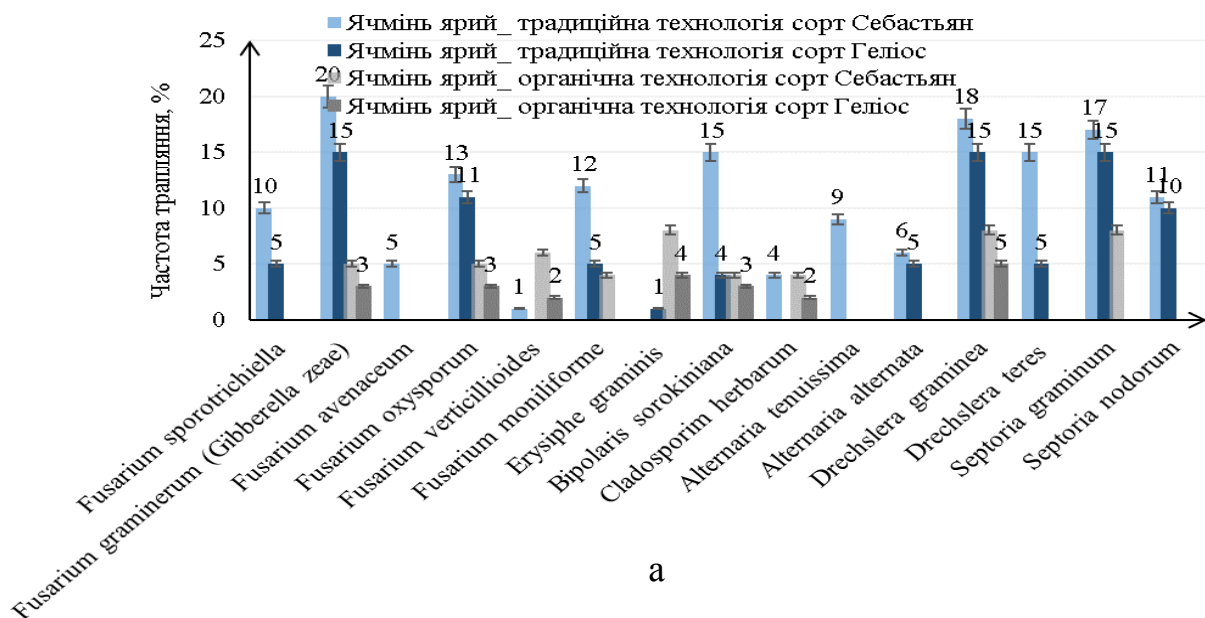
У фазі колосіння за традиційної технології вирощування пшениці озимої сорту Подолянка частота трапляння фітопатогенних мікроміцетів змінюється не суттєво і становить від 5 до 40%, з'являються дві телеморфні стадії грибів роду *Fusarium* spp *Gibberella zeae* та *Gibberella avenacea*, але анаморфні стадії присутні також. За органічних технологій вирощування пшениці озимої частота трапляння мікроміцетів зростає і сягає від 15 до 45%. Зустрічалися дві телеморфні стадії гриба роду *Fusarium* – *Gibberella zeae*, *Gibberella avenacea* (рис. 5-б).

У фазі досягання за традиційної технології вирощування кількість видів фітопатогенних грибів не змінюється, але їх частота трапляння досягає до 80%. Присутні три телеморфні стадії мікроміцетів, а саме: *Gibberella zeae*, *Gibberella avenacea* та *Gibberella fujikuroi*, а також і анаморфні стадії даних грибів

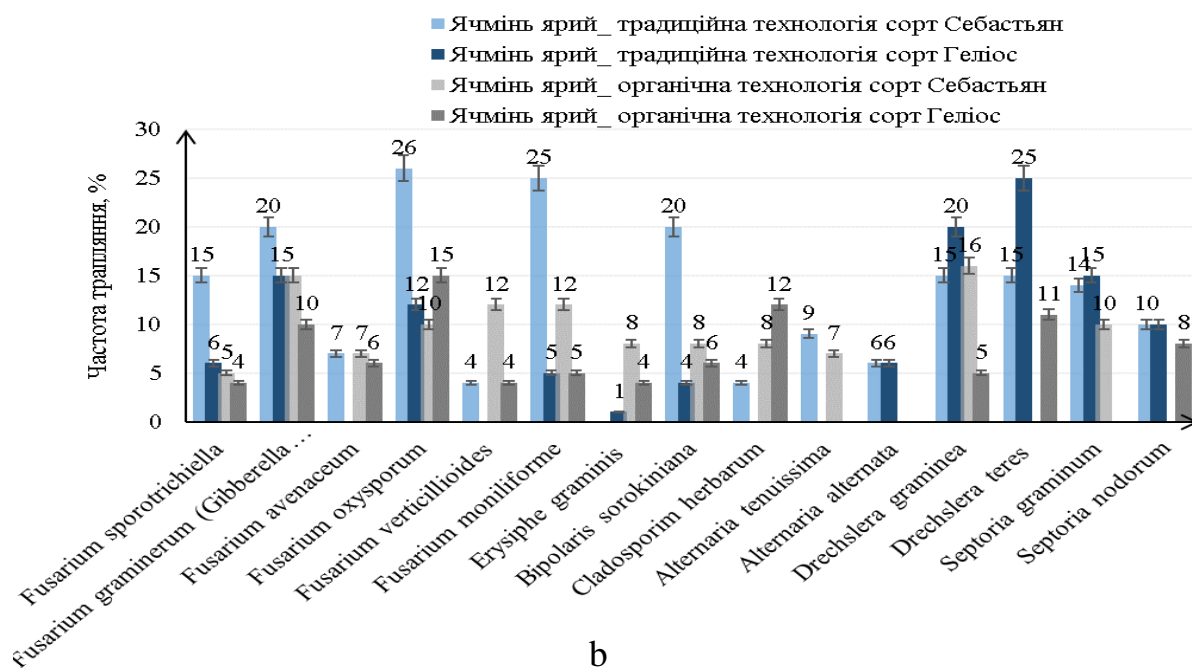
## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

*F. gramineum*, *F. avenaceum* та *F. verticillioides*. Домінуючим видом був *F. oxysporum*, який характеризувався високою частотою трапляння понад 80%. За внесення хімічних препаратів кількість видів впродовж вегетаційного періоду культур не змінюється, але істотно зростає їх чисельність та зустрічається більше телеморфних стадій, що свідчить про високу конкуренцію за субстрат. В той же час, за органічної технології вирощування спостерігали більш врівноважений розвиток фітопатогенних грибів, їх частота трапляння не зростала порівняно із іншими фазами онтогенезу (рис. 5–с). Це свідчить, що за органічної технології вирощування спостерігається спрямований або стабілізуючий добір, що визначає розбалансованість або збалансованість між мікроміцетами, що може істотно змінювати мікробіологічний склад у фітоценозі та впливати на імуномоделяційну активність і пролонговану дію в онтогенезі рослин.

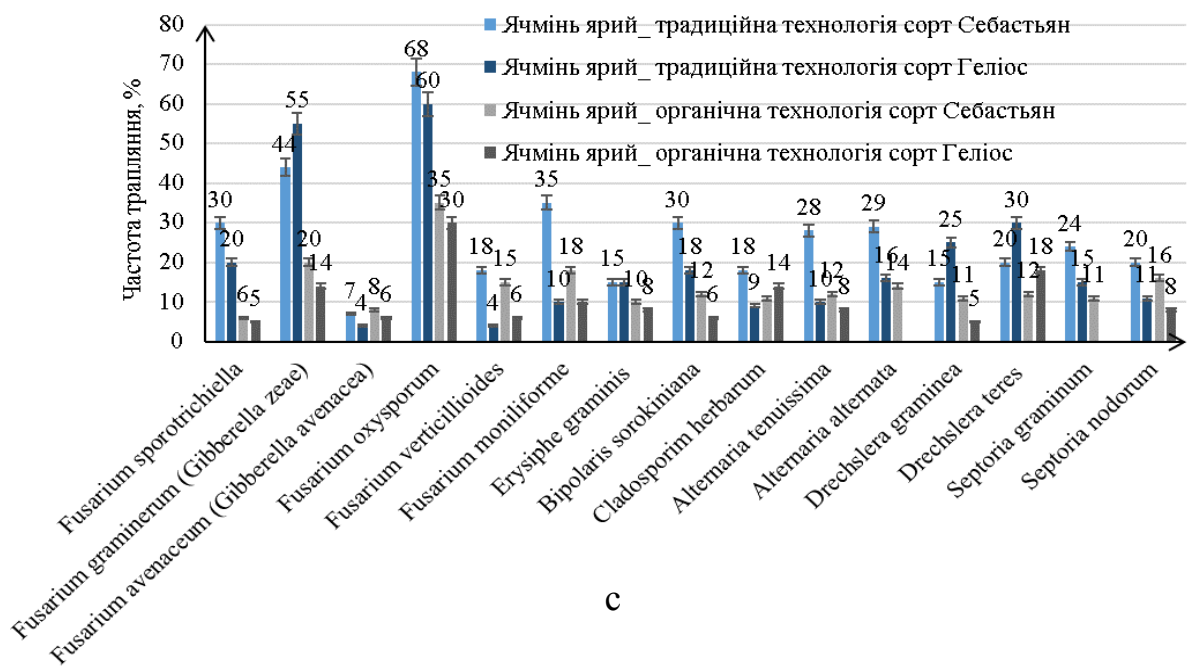
Визначено частоту трапляння мікроміцетів під час онтогенезу ячменю ярого сортів Себастьян та Геліос за двома технологіями вирощування: традиційна (внесення гербіциду і фунгіциду – хімічних речовин) та органічна (без внесення добрив, лише полив водою) (рис. 6).



a



b



c

**Рис. 6. Частота трапляння мікоміцетів за органічної та традиційної технології вирощування в агроценозах ячменю ярого: а – фаза кущання, б – фаза колосіння, с – фаза достигання (2020–2022 рр.)**

Джерело: розроблено автором на основі власних досліджень.

У фазі кущання ячменю ярого за традиційною технологією вирощування було ідентифіковано 15 видів фітопатогенних мікроміцетів на сорті Себастьян і 11 на сорті Геліос. Серед паразитуючих мікроміцетів були представлено 6 видів роду

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

*Fusarium* spp, а саме: *F. sporotrichiella*, *F. verticillioides*, *F. oxysporum*, *Fusarium moniliforme*, *F. gramineum*, *F. avenaceum* на сорті Себастьян, в той же час на сорті Геліос паразитували лише 4 види грибів роду *Fusarium*: *F. sporotrichiella*, *F. oxysporum*, *F. moniliforme*, *F. gramineum*, де їх частота трапляння на рослинах сортах Себастьян і Геліос коливалася від 5 до 20%. Також зустрічалися види: *E. graminis*, *B. sorokiniana*, *C. herbarum*, *A. tenuissima*, *A. alternate*, *D. graminea*, *D. teres*, *S. graminum*, *S. nodorum*, їх частота трапляння була в межах від 1% до 18%. Всі мікроміцети присутні в анаморфній стадії, окрім *F. gramineum*, де зустрічалася і телеморфна стадія *Gibberella zeae*. Поряд з тим за органічної технології вирощування спостерігали істотно меншу кількість мікроміцетів 9 видів на сорті Себастьян та 6 на сорті Геліос. Домінуючими видами були *D. teres*, та *B. sorokiniana* частота трапляння яких становила в середньому 8%. Була присутня телеморфна стадія *F. gramineum* – *Gibberella zeae*, яка характеризувалася дуже малою частотою трапляння (рис. 6-а).

У фазі колосіння ячменю ярого за традиційної технології вирощування кількість видів мікроміцетів не збільшується їх частота трапляння майже не зростає і становить від 1% до 26%. Домінували види *F. oxysporum*, *F. moniliforme* та *D. teres*. Так як і у фазі кущення присутня телеморфна стадія *F. gramineum* – *Gibberella zeae*. За органічної технології вирощування ячменю ярого кількість мікроміцетів зростає – 13 видів, але їх частота трапляння не висока досягає максимум 15%. Це свідчить, що у фазі колосіння без внесення препаратів відбувається збільшення видів, але із невисокою частотою трапляння. Також присутня телеморфна стадія *F. gramineum* – *Gibberella zeae*, яка характеризувалася частотою трапляння до 20% (рис. 6-б).

У фазі досягання за традиційної технології вирощування спостерігається активний розвиток фітопатогенних мікроміцетів, де їх кількість становить –16 видів. Істотно зростає частота трапляння грибі в роду *Fusarium*, що досягала до 68%. Утворюються дві анаморфні стадії: *Gibberella zeae*, *Gibberella avenacea*. Поряд з тим за органічної технології вирощування спостерігається незначне підвищення частоти трапляння фітопатогенних мікроміцетів до 35%. Спостерігають також дві

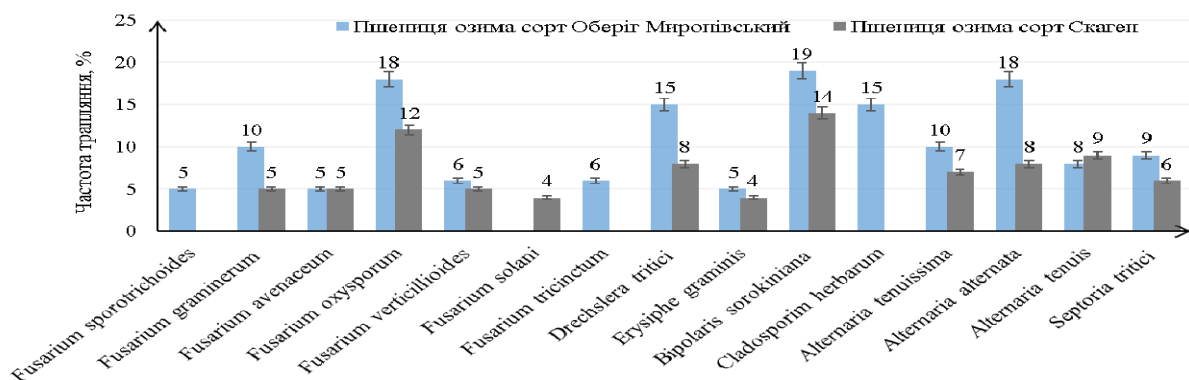
## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

анаморфні стадії, але їх частота трапляння дещо вища чим у традиційній технології вирощування.

Отже, за традиційної технології вирощування у фазі колосіння, де ГТК був 0,9, що свідчить про достатнє зволоження, спостерігали активний розвиток мікроміцетів в анаморфному стані. Це свідчить про утворення більш агресивних штамів фітопатогенних мікроміцетів та швидкого їх розмноження в посівах у зв'язку із створенням умов стресу внесенням хімічних препаратів. В той же час за органічною технологією вирощування спостерігали природній добір, де популяції патогенних мікроміцетів, конкуруючи між собою, також утворюють телеморфні стадії розвитку, але не спричинюючи створення більш агресивних штамів. Слід зазначити, що сорт Геліос ячменю ярого характеризувався істотно нижчою частотою трапляння порівняно із сортом Себастьян (рис. 6-с).

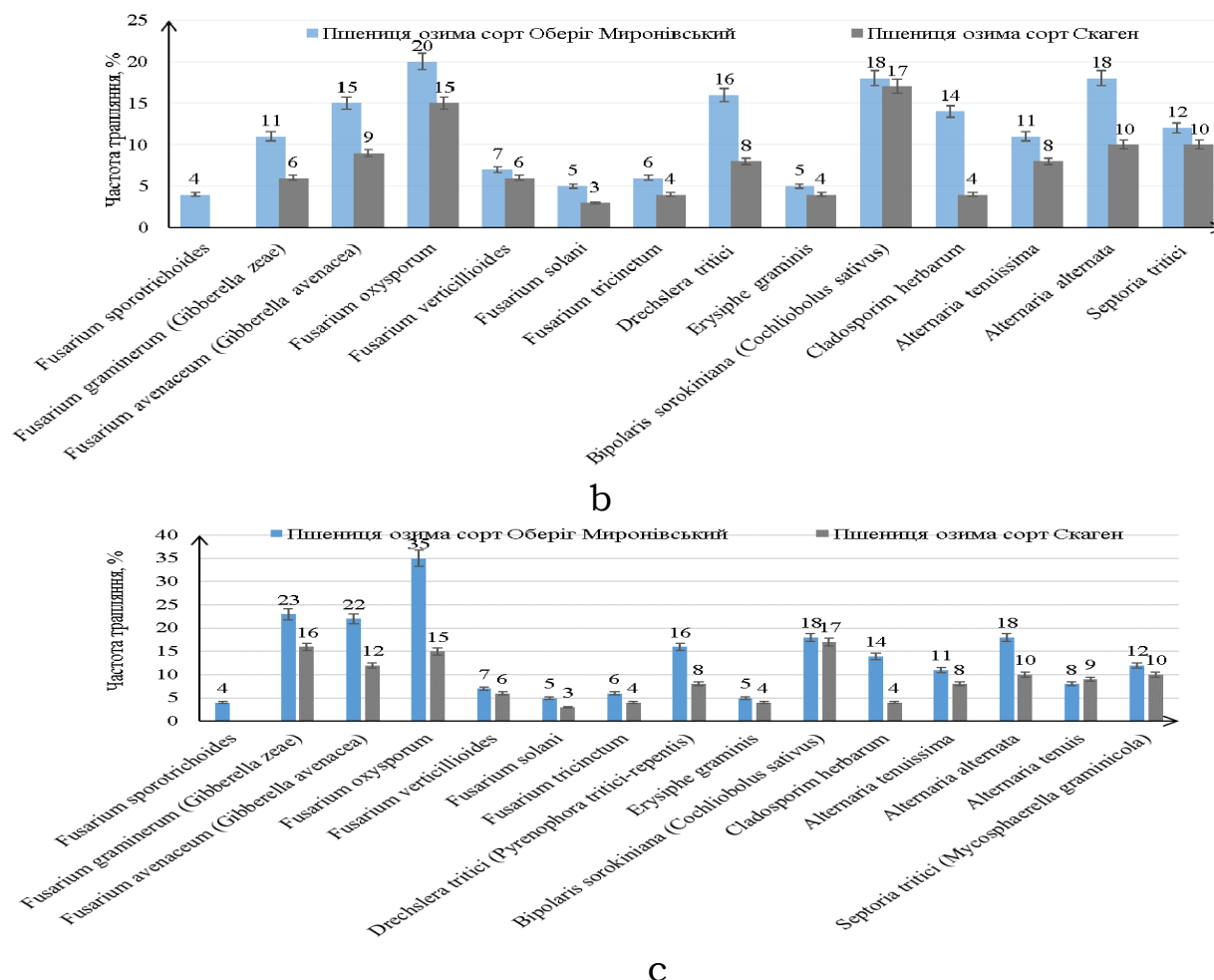
### **Частота трапляння фітопатогенних мікроміцетів та зміна їх життєвих циклів у посівах пшениці озимої на полях приватного господарства органічного виробництва ФООП Шанойло Т.В.**

Також дослідження були проведені на полях приватного господарства органічного виробництва ФООП Шанойло Т.В., яке розташоване у Чернігівській області, селище Количівка, де протягом вегетаційний періоду переважала посуха (ГТК 0,5–0,6), лише у червні місяці ГТК становив 0,9, що свідчить про помірне зволоження. Тому частота трапляння фітопатогенних мікроміцетів істотно різнилися впродовж онтогенезу культур (рис. 7).



а

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР



**Рис. 7. Частота трапляння мікоміцетів за органічної технології вирощування в агроценозах пшениці озимої: а – кущення, б – колосіння, с – достигання (2020–2022 рр.)**

Джерело: розроблено автором на основі власних досліджень.

У фазі кущення пшениці озимої за органічної технології вирощування зустрічалося 15 видів фітопатогенних мікроміцетів, які характеризувалися різною частотою трапляння від 3% до 19%. Домінуючими видами були *F. oxysporum*, *D. tritici*, *B. sorokiniana* та *A. alternata*, їх частота трапляння сягала до 19%. Зустрічалися мікроміцети лише в анаморфній стадії (рис.7-а).

У фазі колосіння частота трапляння мікроміцетів у агроценозах пшениці озимої зростала і коливалася в межах від від 4 до 20%, кількість видів було 14. Утворювалися телеморфні стадії мікроміцетів *F. avenaceum* (*Gibberella avenacea*),

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

---

*Fusarium gramineum* (*Gibberella zeae*), *Bipolaris sorokiniana* (*Cochliobolus sativus*) (рис. 7-b).

У фазі дозрівання на пшениці озимій спостерігали найбільшу кількість мікроміцетів – 15 видів, які характеризувалися не високою частотою трапляння від 5% до 35%. Домінуючими були види *F. gramineum* та його телеморфна стадія *Gibberella zeae*, *F. oxysporum*, де їх частота трапляння досягала більше 35%. У посівах пшениці озимої спостерігали 5 телеморфних стадій розвитку мікроміцетів, а саме: *Pyrenophora tritici-repentis*, *Mycosphaerella graminicola*, *Cochliobolus sativus*, *Gibberella zeae* та *Gibberella fujikuroi*, також були присутні і анаморфні стадії цих грибів, які характеризувалися незначною частотою трапляння (рис. 7-с).

Слід зазначити що частота трапляння мікроміцетів диференціювалася залежно від сорту рослин пшениці озимої. Протягом вегетаційного періоду сорт Скаген характеризувався меншою кількістю видів мікроміцетів та нижчою їх частотою трапляння порівняно з сортом Оберіг Миронівський. Це свідчить, що сорти своїми біохімічний склад здатні впливати на поширення патогеної мікобіоти в агроценозах.

Отже, за органічної технології вирощування пшениці озимої на полях приватного господарства органічного виробництва ФОП Шанойло впродовж онтогенезу рослин паразитувало 15 видів фітопатогенних грибів, які характеризувалися різною частотою трапляння від 4% до 35%. Домінуючими були види *F. gramineum* та його телеморфна стадія *Gibberella zeae*, *F. oxysporum*, де їх частота трапляння досягала більше 30%. Зустрічалось 5 телеморфних стадій мікроміцетів, які утворювали в кінці вегетаційного періоду, це свідчить про несприятливі умови для розвитку грибів, високу конкурентну здатність мікроміцетів у посівах, що спричинює зміни у їхніх життєвих циклах.

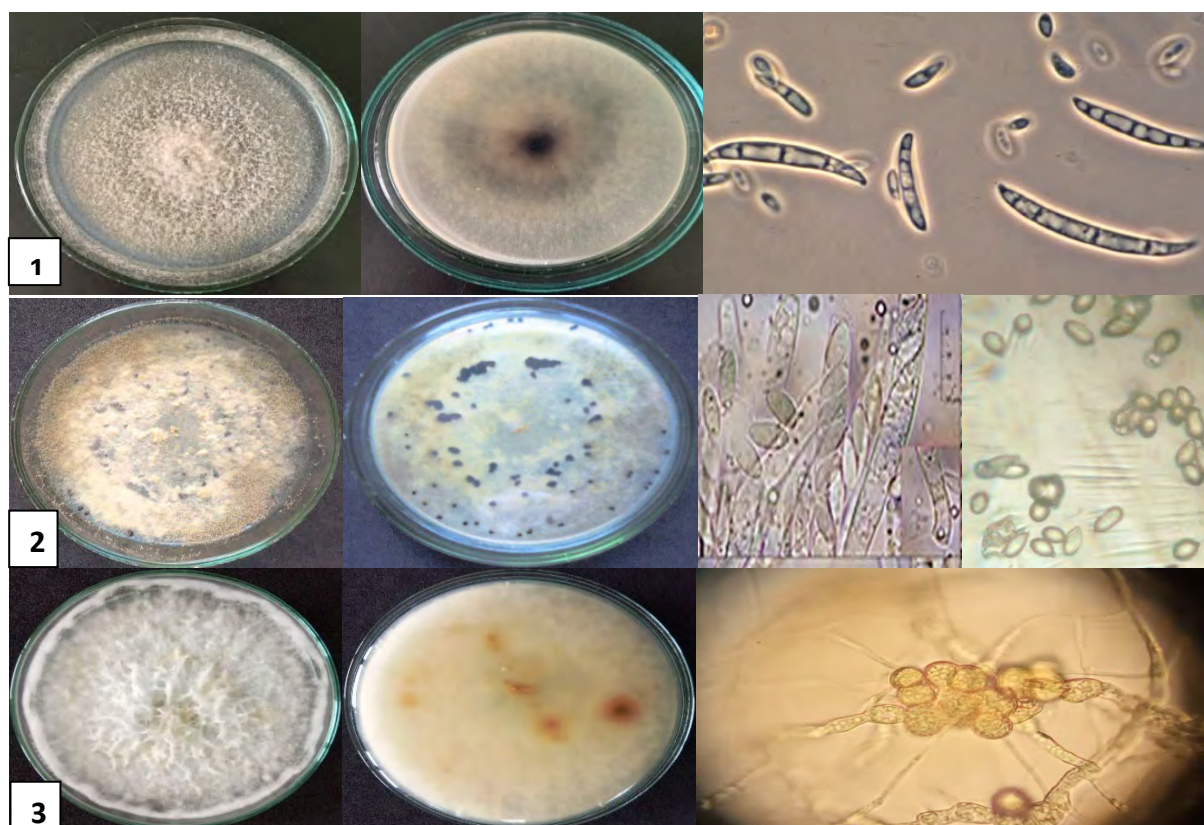
Отже, за результатами дослідження агроценозів сільськогосподарських культур спостерігали різний спектр фітопатогенних мікроміцетів та їх частоту трапляння, що дає підстави допустити, що технологія вирощування істотно впливає на поширення і накопичення інфекційних структур різних видів мікроміцетів.

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

### *Життєві форми домінуючих мікроміцетів в агроценозах сільськогосподарських рослин.*

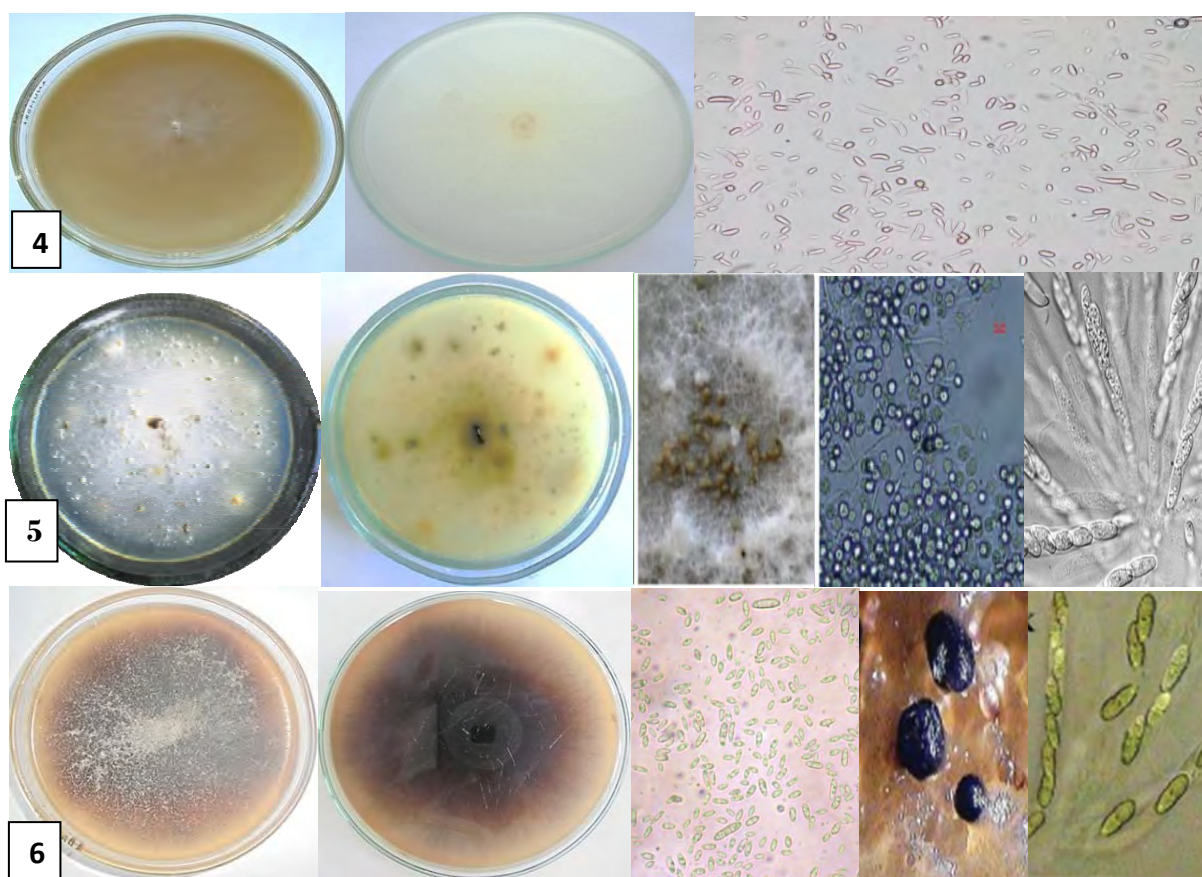
Домінуючі фітопатогенні гриби в життєвому циклі формують ряд життєвих форм: міцелій, макро і мікро конідії, хламідоспори, аскоспори та склероції (рис. 8).

Саме у цих формах вони у більшості присутні на різних рослинах. За спостереженнями на уражених тканинах рослин пшениці озимої, вівсу, жита, ячменю ярого у фазу цвітіння і виходу у трубку переважає анаморфна стадія гриба, інтенсивність розвитку якої різна. Вона залежить як від виду рослин так і від уражуваного органа у різних фазах онтогенезу. На прикінці вегетаційного періоду зустрічалися телеморфні стадії мікроміцетів, які характеризувалися утворення аскоспор у посівах культурних рослин. Тому проаналізовано телеморфні стадії мікроміцетів та їх анаморфні стадії за різних технологій вирощування у посівах сільськогосподарських культур.





## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР



**Рис. 8. Життєві форми домінуючих мікроміцетів в агроценозах сільськогосподарських рослин: 1- *Fusarium oxysporum*; 2- *Botrytis cinerea*; 3-*Fusarium incarnatum*; 4 -*Fusarium solani* 5 - *Nectria haematococca*; 6 – *Fusarium proliferatum* (*Gibberella intermedia*).**

Джерело: авторське фото.

За використання змішаної технології вирощування на полях Носівської дослідної станції у посівах сільськогосподарських культур спостерігали утворення трьох телеморфних стадій мікроміцетів роду *Fusarium* spp., які характеризувалися різним типом спороношення (табл. 1).

За результатами дослідження представленими у таблиці 1 показано, що протягом онтогенезу рослин різних сортів пшениці озимої та вівсу за змішаної технології вирощування серед видів роду *Fusarium* spp. з'являлися телеморфні стадії *G. zeae* виду *F. graminearum*, *G. Avenacea* – *F. avenaceum*, *H. Haematococca* – *F. solani* та *G. fujikuroi* – *F. verticillioides*, які характеризувалися утворенням аскоспор розміром від 12 до 24 мкм.

**РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР**

*Таблиця 1.*  
**Характеристика телеморфних та анаморфних стадій мікроміцетів за змішаною  
технологією вирощування у фазу досягання**

Таксономічне положення		Наявність, тип спорношення та характеристика						
Анаморфна стадія	Телеморфна стадія	Макроконідії	Мікроконідії	Хламідоспори	Склароції	Аско-спори	Міцелій	
<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Gibberella zeae</i>	3 септи, 18-40 x 3,0-4,2 мкм	Куле-подібні поодинокі	Відсутні	Відсутні	3-4 септи 13-20 мкм	добре розвинений, пухнастий, білий.	
<i>Fusarium solani</i>	<i>Haematonectria haematococca</i>	4 септи, 20,0-30 x 3,6-4,0 мкм	Одноклітинні, 5-14 x 2,5-4,0 мкм	Відсутні	Відсутні	2-3 септи 14-22 мкм	міцелій півчастий, білий.	
<i>Fusarium verticillioides</i>	<i>Gibberella fujikuroi</i>	до 5 септ, 35-50,0 x 2,50-4,0 мкм	Зустрі-чалися поодинокі	Немає	Відсутні	1-2 септи 11-21 мкм	добре розвинений, пухнастий, біло-рожевий	
<i>Fusarium avenaceum</i>	<i>Gibberella avenacea</i>	5 септ 40-50,0 x 2,5-4,0 мкм	Відсутні	Немає	Відсутні	2-3 септи 12-24 мкм	масивний міцелій, від білого до світло-жовтого	

*Джерело:* розроблено автором на основі власних досліджень.

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

---

Анаморфні стадії даних мікроміцетів характеризувалися утворенням макро- та мікроконідій і добре розвиненого міцелію.

За використання традиційної технології вирощування на полях Сквирської дослідної станції у посівах сільськогосподарських культур були присутні три телеморфні стадії мікроміцетів, а також і анаморфні стадії даних грибів *F. gramineum*, *F. avenaceum* та *F. verticillioides*, які характеризувалися різним типом спороношення (табл. 2).

В посівах сільськогосподарських культур різних сортів пшениці озимої та ячменю за традиційної технології вирощування зустрічалися телеморфні стадії мікроміцетів *Gibberella zeae*, *Gibberella fujikuroi* та *Gibberella avenacea*, які характеризувалися утворенням аскоспор розмірами від 14 до 30 мкм. Анаморфні стадії даних грибів характеризувалися утворенням макроконідій, мікроконідій та добре розвинутого міцелію, лише у виду *F. verticillioides* спостерігалися поодинокі мікроконідії (табл. 2). Це свідчить що за внесення хімічних препаратів у посівах сільськогосподарських культур накопичується більша кількість інфекційних структур, які здатні швидко поширюватися в агроценозах. За використання органічної технології вирощування без обробки препаратами на полях Сквирської дослідної станції у посівах сільськогосподарських культур були присутні три телеморфні стадії мікроміцетів, а також і їх анаморфні стадії, які різнилися за типом спороношення та розміром спор (табл. 3).

За даними представленими в таблиці 3 показано, що в посівах сільськогосподарських культур різних сортів пшениці озимої, ячменю ярого, сої за органічної технології вирощування без внесення препаратів (полив водою) зустрічалися як анаморфні так і телеморфні стадії розвитку мікроміцетів. При телеморфній стадії спостерігали види *Gibberella zeae*, *Gibberella fujikuroi* та *Gibberella avenacea*, які характеризувалися утворенням аскоспор розмірами від 15 до 40 мкм. Анаморфні стадії мікроміцетів характеризувалися утворенням спочиваючих структур (хламідоспор та склероцій). Це свідчить, що за органічної технології вирощування спостерігається стабільний добір, що визначає збалансованість між мікроміцетами та може істотно змінювати мікробіологічний склад у фітоценозі.

РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Таблиця 2.

Характеристика телеморфних та анаморфних стадій мікроміцетів за традиційною технологією вирощування у фазу достигання

Таксономічне положення		Наявність, тип спорношення та характеристика						
Анаморфна стадія	Телеморфна стадія	Макроконідії	Мікроконідії	Хламідоспори	Склароції	Аскоспори	Міцелій	
<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Gibberella zeae</i>	2 септи, 18–38 x 2,2–1,0 мкм	Кулеподібні, зустрічалоя часто	Відсутні	Відсутні	1–4 септи 14–25 мкм	добре розвинені, пухнастий, білий.	
<i>Fusarium verticillioides</i>	<i>Gibberella fujikuroi</i>	до 3 септ, 35 – 50,0x 2,50–3,50 мкм	Численно	Немає	Відсутні	4 септи 15–30 мкм	добре розвинений, пухнастий, колір біло-рожевий	
<i>Fusarium avenaceum</i>	<i>Gibberella avenacea</i>	4 септи 30–40,0 x 2,5- 3,0 мкм	Зустріча- лися поодинокі	Немає	Відсутні	1–3 септи 16–26 мкм	масивний міцелій, від білого до світло- жовтого	

Джерело: розроблено автором на основі власних досліджень

РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Таблиця 3.

**Характеристика телеморфних та анаморфних стадій мікроміцетів за органічною технологією (без внесення препаратів)**

Таксономічне положення		Наявність, тип спороношення та характеристика						
Анаморфна стадія	Телеморфна стадія	Макро-конідії	Мікро-конідії	Хламідоспори	Склароції	Аско-спори	Міцелій	
<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Gibberella zeae</i>	4 септи, 52–70 x 3,2–5,5 мкм	Відсутні	Утворюю- валися	Відсутні	5 септ 20–40 мкм	слабо розвинений, пухнастий, білий	
<i>Fusarium verticillioides</i>	<i>Gibberella fujikuroi</i>	до 5 септ, 30 – 60,0х 2,5-3,5 мкм	Відсутні	Немає	До 80 мкм	4 септи 15–35 мкм	слабо розвинений, пухнастий, рожево- кармінний	
<i>Fusarium avenaceum</i>	<i>Gibberella avenacea</i>	5 септ 50 – 750х 2,5-3,5 мкм	Відсутні	Утворюю- валися	Відсутні	4 септи 20–35 мкм	слабо розвинений, світло-жовтий	

Джерело: розроблено автором на основі власних досліджень.

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

За використання органічної технології вирощування із внесенням біологічних препаратів на полях приватного органічного господарства ФОП Шанайло у посівах пшениці озимої спостерігали 5 телеморфних стадій розвитку мікроміцетів, а саме: *Pyrenophora tritici-repentis*, *Mycosphaerella graminicola*, *Cochliobolus sativus*, *Gibberella zeae* та *Gibberella fujikuroi*, також були присутні і анаморфні стадії цих грибів, які характеризувалися різним типом спороношення (табл. 4).

Вподовж онтогенезу рослин мікроміцети характеризувалися утворенням різних інфекційних структур, а саме: мікро та макроконідії, склероції, хламідоспори, аскоскопори та слабо розвинений міцелій. Інфекційні структури мали більші розміри порівняно із тими, що зустрічалися на інших технологіях вирощування і характеризувалися значним утворенням спочиваючих структур. Це свідчить про високу конкурентну здатність мікроміцетів у посівах пшениці, що спричинює зміни у їхніх життєвих циклах.

### **Зміни життєвих стратегій мікроміцету *F. oxysporum* за різних технологій вирощування пшениці озимої.**

Фітопатогенні гриби некротрофного типу живлення характеризуються широкою спеціалізацією та здатністю формувати значну кількість інфекційних структур, таких як: міцелій, склероції, мікро та макроконідії, хламідоспори, аскокарпи з аскоспорами, які зберігаються на рослинних рештках, насінні та в ґрунті і з року в рік є основним джерелом ураження сільськогосподарських культур. За багаторічними дослідженнями науковців встановлено, що види роду *Fusarium* spp. активно поширюються в агрофітоценозах [24; 25]. Вони здатні паразитувати на зерні, сходах, кореневій системі та колосках пшениці озимої, а також уражувати понад 150 видів вищих рослин. Гриби роду *Fusarium*, порядку Нурореоміцетидеї представляють одну з найпоширеніших груп аскоміцетів (*Ascomycota*), які є поліфагами, мають широку онтогенетичну й органотропну спеціалізацію [26; 27]. Деякі види мають телеоморфну стадію розвитку [28; 29]. Більша частина життєвого циклу видів роду *Fusarium* spp. проходить у нестатевій - анаморфній стадії розвитку.

**РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР**

Таблиця 4.

**Характеристика телеморфних та анаморфних стадій мікроміцетів за органічною технологією вирощування (із внесенням препаратів)**

Таксономічне положення		Наявність, тип спороношення та характеристика					
Анаморфна стадія	Телеморфна стадія	Макроконідії	Мікроконідії	Хламідоспори	Склароції	Аскоспори	Міцелій
<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Gibberella zeae</i>	3 септи 22–35 x 3,2–4,0 мкм	Кулеподібні, поодинокі	Утворюються численно	-	4 септи 18–40 мкм	Слабо розвинений, пухнастий білий.
<i>Fusarium verticillioides</i>	<i>Gibberella fujikuroi</i>	до 5 септ, 44,0–50,0 x 1,50–2,50 мкм	Одноклітинні або з однією перегородкою поодинокі.	-	темно-сині, кулясті, діаметр 60 мкм	4 септи 22–40 мкм	слабо розвинений, пухнастий, біло-рожевий
<i>Septoria tritici</i>	<i>Mycosphaerella graminicola</i>	5 септ, 52–60x1–2 мкм	-	-	-	2 септи 10–28 мкм	слабо розвиненийтемно-сірого кольору
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	<i>Cochliobolus sativus</i>	До 6 септ 50–70 x 15–20 мкм	-	-	-	4–6 септ 15–40 мкм	слабо розвинений, чорний, порошистий.
<i>Drechslera tritici-repentis</i>	<i>Pyrenophora tritici-repentis</i>	75–250 x 14–20 мкм с 1–9 псевдосептами	-	-	-	14–29 мкм 3 септи-	Слабо розвинений коричневий

Джерело: розроблено автором на основі власних досліджень.

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

---

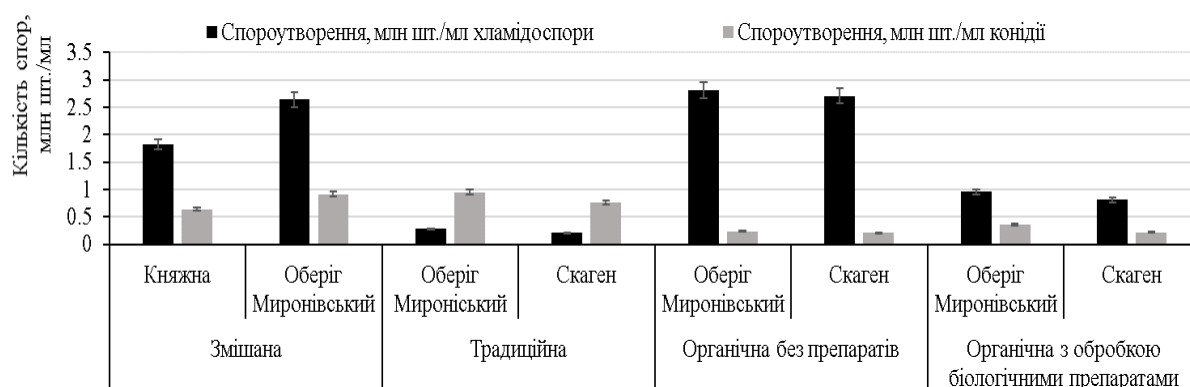
Спороношення, інфікування нових рослин і утворення спор у грибів цього роду може бути обмежене лише відсутністю поживних субстратів та несприятливими умовами для їхнього розвитку, що і спричинюють різні технології вирощування. У формі міцелію мікроміцети можуть зберігатися в насінні, рослинних рештках культивованих рослин та дикорослих бур'янів. У вигляді хламідоспор вони переживають несприятливі умови й, таким чином, забезпечують їх розповсюдження. Потрапивши разом із рослинними рештками або ґрунтом у сприятливе середовище, хламідоспори проростають, і відбувається формування вегетативного міцелію [30]. Отже, під дією біотичних, абіотичних та антропогенних факторів навколишнього середовища вони здатні змінювати свої життєві стратегії та жититись як паразити на вегетуючих рослинах або як сапротрофи на рослинних рештках у ґрунті. Відомо, що субстрат, на якому розвивається гриб, є головним регулятором його життєдіяльності [31]. У процесі взаємодії популяцій грибів зі сортами рослин за використання різних технологій вирощування перед ними постає вибір між К, r та L життєвими стратегіями: r-стратегія сприяє швидкому розмноженню за умов відсутності опору середовища; К-стратегія корисна за умови збільшення опору середовища (відбувається не збільшення швидкості розмноження, а зниження швидкості вимирання, що забезпечує існування штаму), L-стратегії характерний сталий розвиток, мінімальна кількість спор, багато спочиваючих структур [32; 33]. Більшість аноморфних грибів є гаплоїдними r-стратегіями. Утворення вегетативних спочивальних структур – хламідоспор і склероціїв, які забезпечують зберігання виду, свідчить про перехід мікроміцета до К та L життєвих стратегій. Головним показником оцінювання переваги r, К або L стратегій є співвідношення репродуктивної та генеративної фази розвитку гриба.

Слід зазначити, що у посівах культурних рослин за різних технологій вирощування домінував фітопатогенний мікроміцет *F. oxysporum*, який характеризувався високою частотою трапляння понад 80%, він не утворює телеморфну стадію, але здатний формувати спочиваючі структури у вигляді хламідоспор, тому нами було вивчено Інтенсивність спороутворення гриба *F. oxysporum* у прикореневій зоні рослин за різних технологій вирощування.



## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Рослини пшениці озимої залежно від технологій вирощування та фази онтогенезу по-різному впливали на інтенсивність спороутворення фітопатогенного гриба *F. oxysporum*. У фазі куцнення на корінні різних сортів пшениці озимої спостерігали різну кількість інфекційних структур: хламідоспор, конідій, яка залежала від сорту та технологій вирощування культури (рис. 9).



**Рис. 9. Інтенсивність спороутворення гриба *F. oxysporum* у фазу куцнення (2020–2022 рр.).**

*Джерело:* розроблено автором на основі власних досліджень.

За даними представленими на рисунку 9 визначено, що за змішаної технології вирощування кількість хламідоспор суттєво перевищувала кількість конідій і становила на корінні сорту Княжна 1,82 млн шт./мл та на корінні сорту Оберіг Миронівський 2,64 млн шт./мл. В той же час, як кількість конідій на коріннях цих сортів становила від 0,64 до 0,91 млн шт./мл.

За традиційної технології вирощування спостерігали меншу кількість інфекцій структур, де кількість конідій на корінні сорту Оберіг Миронівський сягала 0,95 млн шт./мл, а на корінні пшениці озимої сорту Скаген – 0,77 млн шт./мл. Поряд з тим, кількість хламідоспор на корінні обох сортів була в 2 рази нижчою і становила в середньому 0,22 млн шт./мл.

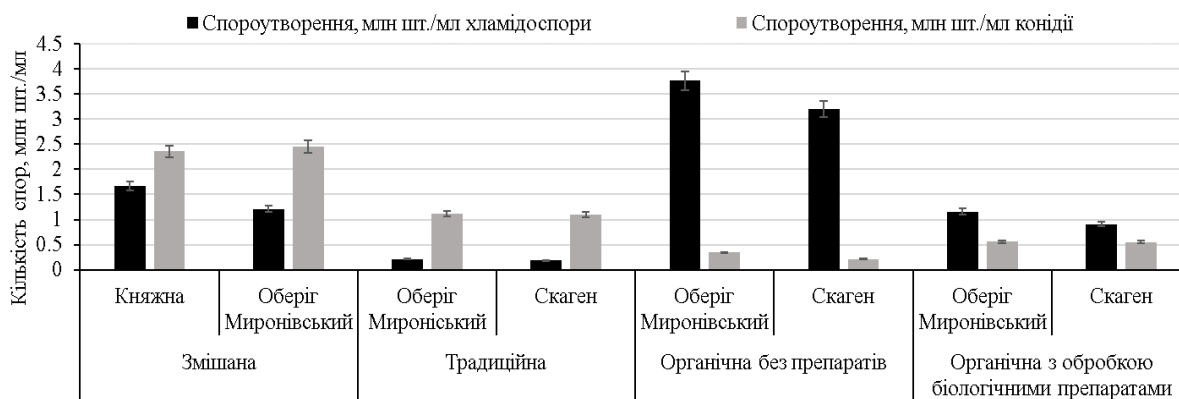
За органічною технологією вирощування без внесення препаратів спостерігали істотне збільшення хламідоспор на корінні обох сортів, що становило від 2,71 до 2,82 млн шт./мл., де кількість конідій була в 5 раз нижчою.

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

За органічною технологією з обробкою біологічними препаратами спостерігали найменшу кількість інфекційних структур порівняно з іншими технологіями, де кількість хламідоспор на корінні сорту Скаген була 0,81 млн шт./мл., а на сорті Оберіг Миронівський 0,96 млн шт./мл., кількість конідій була дещо меншою і варіювалася в межах від 0,22 до 0,36 млн шт./мл.

Слід зазначити, що у фазі кущення за змішаної, органічної без внесення препаратів та органічної із внесенням препаратів технологіями на корінні різних сортів пшениці озимої переважає утворення більшої кількості хламідоспор гриба *F. oxysporum* в порівнянні з конідіями, що свідчить про нестабільні умови середовища, де притаманна К – стратегія якій властиво збереження виду в ґрунтовому середовищі. Поряд з тим, за традиційної технології вирощування спостерігали утворення більшої кількості конідій на корінні різних сортів пшениці озимої, що характерно для г – стратегії, що сприяє швидкому розмноженню та поширенню гриба *F. oxysporum* в агроценозах зернових культур.

У фазу цвітіння на корінні різних сортів пшениці озимої кількість інфекційних структур змінювалася залежно від технології вирощування (рис. 10).



**Рис. 10. Інтенсивність спороутворення гриба *F. oxysporum* у фазу цвітіння (2020–2022 рр.).**

Джерело: розроблено автором на основі власних досліджень.

За даними представленими на рисунку 10 показано, що за змішаної технології вирощування кількість хламідоспор істотно знижувалася порівняно із фазою кущення і становила

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

---

від 1,67 млн шт./мл на корінні сорту Княжна до 1,21 млн шт./мл на корінні сорту Оберіг Миронівський, а кількість конідій підвищувалася і сягала в середньому 2,41 млн шт./мл на корінні обох сортів.

Отже, внесення хімічних та біологічних препаратів на початкових етапах онтогенезу пшениці озимої сприяє утворенню хламідоспор, а в фазі цвітіння їх кількість знижується, а споруутворення конідій істотно зростає, що свідчить про несприятливі умови розвитку для гриба *F. oxysporum*, де К-стратегія переходить у г стратегію, якій властива здатність до швидкого розмноження, що дозволить конкурувати з іншими організмами.

За традиційної технології вирощування кількість конідій перевищувала кількість хламідоспор так як у фазі кущення, так і у фазі цвітіння пшениці озимої на корінні сорту Скаген становило 1,12 млн шт./мл, а на корінні сорту Оберіг Миронівський сягала 1,12 млн шт./мл, а кількість хламідоспор була в середньому 0,2 млн шт./мл. Це характерно для г-стратегії, що сприяє до швидкому розмноженню гриба *F. oxysporum*.

За органічною технологією вирощування без внесення препаратів спостерігали істотне збільшення хламідоспор, так як у фазі кущення, так і у фазі цвітіння їх кількість майже в 10 раз перевищувала кількість конідій на корінні обох сортів пшениці озимої. Це притаманно L – стратегам, що здатні утворювати велику кількість спочиваючих структур для збереження виду у просторі і часі.

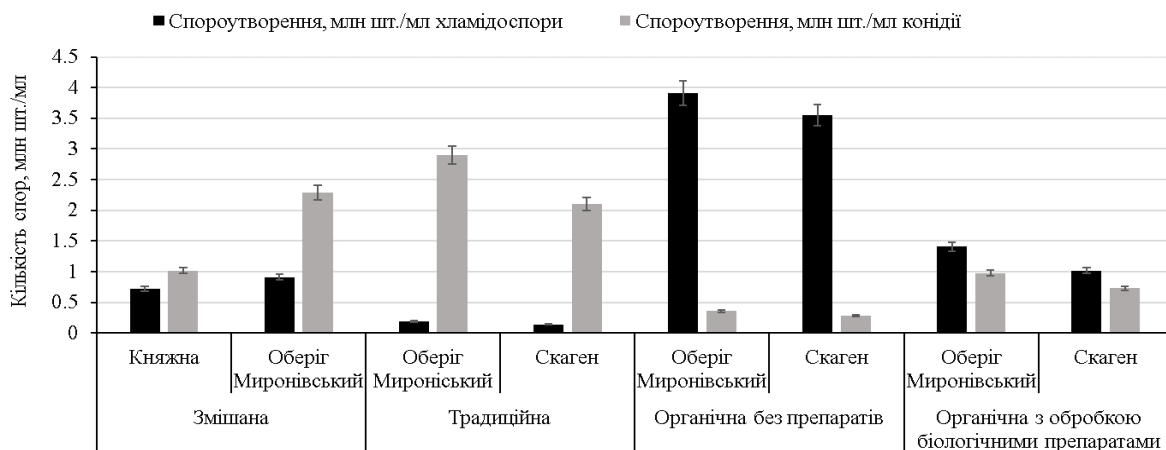
За органічної технології вирощування із внесення біологічних препаратів у посівах пшениці озимої спостерігали істотне збільшення хламідоспор, що становила на сорті Оберіг Миронівський від 1,16 млн шт./мл, в той же час за посіву сорту Скаген їх кількість була меншою і становила від 0,9 млн шт./мл. Поряд з тим споруутворення конідій було менше і становило на корінні обох сортів в середньому 0,56 млн шт./мл. Це притаманно К – стратегам, де переважає кількість хламідоспор, порівняно із конідіями. Слід зазначити, що за цієї технології кількість інфекційних структур гриба *F. oxysporum* була найменшою у посівах пшениці озимої.

За результатами дослідження представленими на рисунку 11 показано, що у фазі досягання за змішаної та традиційної технології вирощування інтенсивність споруутворення хламідоспор

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

доспор зменшується, яка становить від 0,14 млн шт./мл на сорті Скаген до 0,91 млн шт./мл на сорті Оберіг Миронівський, а кількість конідій істотно зростає, особливо за традиційної технології вирощування, і досягає в середньому 2,91 млн шт./мл на корінні обох сортів.

Слід зазначити, що за змішаної технології вирощування на ранніх етапах онтогенезу спостерігали збільшення хламідоспор, а вкінці істотно зростала кількість конідій, особливо на корінні сорту Оберіг Миронівській, що становила 2,29 млн шт./мл. Це притаманно К – стратегії, яка переходить в г – стратегію.



**Рис. 11. Інтенсивність спороутворення гриба *F. oxysporum* у фазу досягання (2020–2022 рр.).**

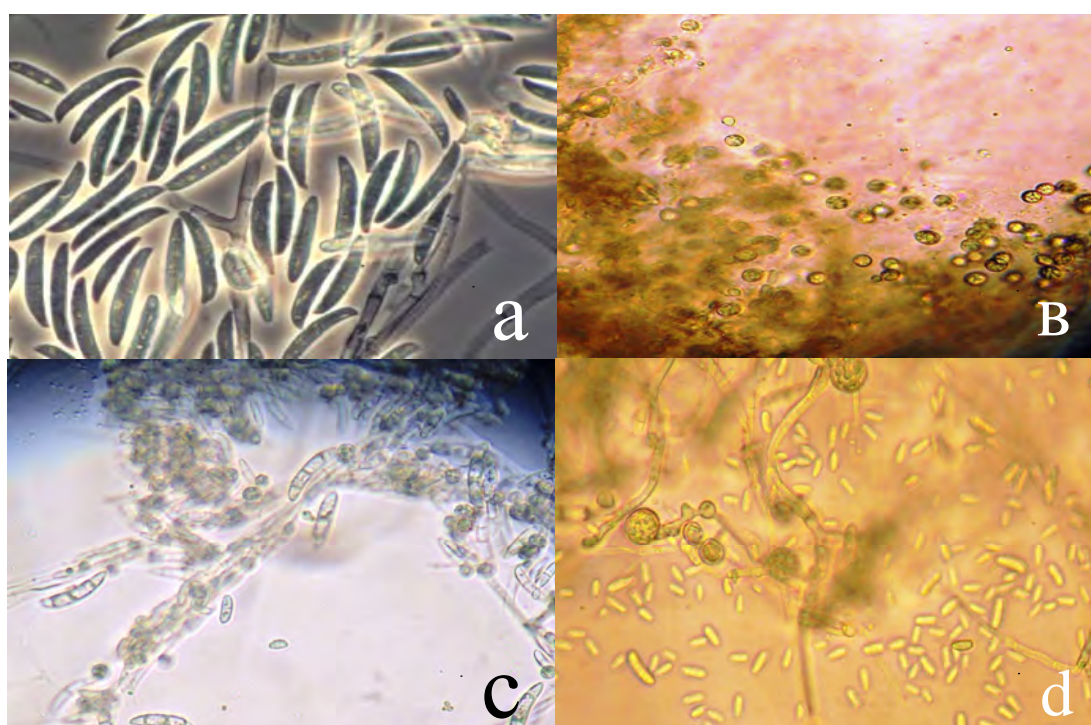
Джерело: розроблено автором на основі власних досліджень.

Можна допустити, що під впливом препаратів різного спектру дії спостерігається зміни в ґрунтовому середовищі, що спричиняють негативні умови для розвитку гриба *F. oxysporum* і призводять до інтенсивного розмноження і поширення його в середовищі (рис. 11).

За традиційної технології вирощування у всіх фазах онтогенезу спостерігали істотне збільшення кількості конідій, що майже в 10 разів перевищувала кількість хламідоспор на корінні обох сортів. Це притаманно г – стратегам, які за дії несприятливих факторів, а саме пестицидного навантаження здатні до швидкого розмноження, щоб зайняти найбільше простору в агроценозах зернових культур (рис. 11).

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

За органічною технологією вирощування без внесення препаратів спостерігали істотне збільшення хламідоспор протягом трьох фаз онтогенезу пшениці озимої, де найбільша їх кількість була у фазі досягання, що становила на корінні сорту Скаген 3,55 млн шт./мл, а сорту Оберіг Миронівський – 3,91 млн шт./мл, поряд з тим кількість конідій становила в середньому 0,35 млн шт./мл. Це свідчить, що у посівах пшениці озимої переважало утворення спочиваючих структур, а кількість конідій була мінімальною порівняно з іншими технологіями вирощування, що притаманно L – стратегам (рис. 12).



**Рис. 12. Життєві стратегії мікроміцету *F. oxysporum* за різних технологій вирощування у агроценозах пшениці озимої: а – традиційна технологія (r – стратегія), в – органічна технологія без обробки препаратами (L – стратегія), с – органічна технології з обробкою препаратів (K – стратегія), d – змішана технологія (K – стратегія переходить в r – стратегію)**

*Джерело: авторське фото.*

За органічної технології вирощування із внесення біологічних препаратів у посівах пшениці озимої спостерігали істотне збільшення хламідоспор впродовж вегетаційного періоду, що

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

---

становила на сорті Оберіг Миронівський від 1,41 млн шт./мл, в той же час за посіву сорту Скаген їх кількість була меншою і становила 1,02 млн шт./мл. Поряд з тим спороутворення конідій було менше і становило на сорті Оберіг Миронівський 0,98 млн шт./мл., а на сорті Скаген 0,73 млн шт./мл (рис. 11). Слід відмітити, що саме за цією технологією, ми спостерігали найменшу кількість інфекційних структур під час онтогенезу рослин, а також кількість конідій і хламідоспор не суттєві відрізнялися. Це притаманно К-стратегам, що за умови збільшення опору середовища – відбувається не збільшення швидкості розмноження, а зниження швидкості вимирання, що забезпечує існування штаму (рис. 12)

Отримані результати дають можливість зрозуміти зміну життєвих стратегій фітопатогеного мікроміцету *F. oxysporum* у посівах різних сортів пшениці озимої залежно від технології вирощування.

Отже, в процесі селекції сортів рослин на стійкість до фітопатогенних грибів доцільно оцінювати сорти культурних рослин за показниками його впливу на інтенсивність спороутворення та життєві стратегії мікроміцетів, що дасть можливість створювати стійкі екосистеми в агрофітоценозах. За результатами досліджень можна стверджувати, що рослини вирощені за органічної технології є більш екологічно безпечними.

**Показниками, які характеризують зміни у життєвих циклах мікроміцетів за використання різних технологій вирощування.**

Впродовж досліджень було проаналізовано посіви сільськогосподарських рослин за різними технологіями вирощування на різних дослідних стаціях та виявлено зміни в життєвих циклах мікроміцетів, які домінували в посівах. Це надасть можливість вдосконалити систему оцінювання сортів культурних рослин за взаємодії із фітопатогенними мікроміцетами доповнивши її показниками, які характеризують зміни у життєвих циклах мікроміцетів за використання різних технологій вирощування (табл. 5).

Дані дослідження покладено в основу наукового обґрунтування регуляції чисельності мікроміцетів в агроценозах сільськогосподарських культур, що забезпечить зниження інфекційного навантаження в агроценозах культурних рослин та забезпечить підвищення якості рослинної продукції.

**РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР**

*Таблиця 5.*

**Показники, які характеризують зміни у життєвих  
циклах мікроміцетів в агроценозах за різних технологій  
вирощування**

<b>Показники</b>	<b>г- стратегія</b>	<b>К - стратегія</b>	<b>Л- стратегія</b>
<b>Таксономічне положення</b>	Переважає аноморфна стадія	Переважає телеморфна стадія	Присутні аноморфні і телеморфні стадії
<b>Характерний тип спороношення</b>	Макроконідії, мікроконідії	Переважають спочиваючі структури	Багато спочиваючих структур
<b>Онтогенетичні особливості</b>	Швидкий розвиток, висока швидкість розмноження, маленькій розмір спор, період виживання без господаря низький.	Повільний розвиток, низька швидкість розмноження, великий розмір спор, часто присутні спочиваючі структури, період виживання без господаря високий 1 і 2 роки.	Сталий розвиток, мінімальна кількість спор, багато спочиваючих структур, період виживання без господаря високий 3 і більше років.
<b>Чисельність</b>	Дуже мінлива	Близька до сталої	Стала, але мінімальна
<b>Конкуренція</b>	Слабка	Висока	Конкурентоздатні за рахунок утворення спочиваючих спор

*Джерело:* розроблено автором на основі власних досліджень.

К- стратегам притаманна органічна технологія вирощування без внесення препаратів, яка характеризувалася високою частотою трапляння телеморфних стадій у фазі досягання, повільним розвиток мікроміцетів, низькою швидкість розмноження, великими розмірами спор, часто присутні спочиваючі структури.

Л- стратегам притаманна традиційна та змішана технологія вирощування, які характеризувались переважанням аноморфних стадій розвитку мікроміцетів та характеризувались високою швидкістю розмноження, маленьким розміром спор, відсутністю спочиваючих структур.

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

---

L- стратегам притаманна органічна технологія вирощування із внесенням біологічних препаратів, яка характеризувалася присутністю анаморфних і телеморфних стадій розвитку мікроміцетів, характерний сталий розвиток, мінімальна кількість спор, багато спочиваючих структур.

Отже, за змішаної та традиційної технології вирощування у агроценозах сільськогосподарських культур переважала анаморфна стадія мікроміцетів роду *Fusarium* spp., яка характеризувалася інтенсивним утворенням макро- і мікроконідій та високою частотою трапляння їх (80%). Це свідчить про інтенсивний розвиток інфекційних структур фітопатогенних мікроміцетів та швидкого поширення їх в агроценозах.

За органічної технології вирощування в агроценозах сільськогосподарських культур спостерігали природній добір між популяціями патогенних мікроміцетів, які характеризувалися інтенсивним утворенням спочиваючих структур та низькою частотою трапляння їх (до 35%). Це свідчить про високу конкурентну здатність мікроміцетів в агроценозах сільськогосподарських культур в умовах органічної технології вирощування.

Життєві стратегії мікроміцетів в умовах змішаної технології вирощування сільськогосподарських культур істотно змінювалися, що свідчить про нестабільні умови середовища, де K-стратегія переходить у r-стратегію. В умовах традиційної технології вирощування сільськогосподарських культур переважала r-стратегії. За органічною технологією вирощування без внесення препаратів спостерігали істотне збільшення хламідоспор мікроміцетів, що притаманно K-стратегам. В умовах органічної технології вирощування сільськогосподарських культур із внесення біологічних препаратів переважало багато спочиваючих структур мікроміцетів, що притаманно L – стратегам. Це свідчить, що технології вирощування істотно впливали на життєві стратегії мікроміцетів в агроценозах сільськогосподарських культур.

Розроблено показники, які характеризують зміни у життєвих циклах мікроміцетів в агроценозах сільськогосподарських культур, що надає можливість вдосконалити систему оцінювання сортів культурних рослин за взаємодії із фітопатогенними мікроміцетами. Це дасть можливість створювати стійкі екосистеми в агрофітоценозах та знизити біологічне забруднення агрофітоценозів.



## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

---

### Література до розділу 6:

1. Elena PieckováFarah K. Ahmed Renáta Lehotská Mária Globanová. Novel silver-based nanomaterials for control of mycobiota and biocide analytical regulations in agri-food sector. *Silver Nanomaterials for Agri-Food Applications*. 2021. Pages 187–216.
2. Beznosko I., Parfenyuk A., Gorgan T., Gavrilyuk L., Turovnik Y. Ecological role of winter wheat varieties is in phytosanitary optimization of agroecosystems. *Агробіологія*. 2021. С. 180 – 187. DOI: 10.33245/2310-9270-2021-163-1-180-187
3. Антоняк Г. А., Калинець-Мамчур З. І., Дудка І. О., Бабич Н. О., Панас Н. Є. Екологія грибів: монографія. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2013. 628 с.
4. Мосійчук І.І., Безноско І.В., Туровнік Ю.А., Горган Т.М. Екологічне обґрунтування регуляції фітопатогенного мікобіому в агроценозах ячменю ярого у екологічно безпечних технологіях. *Агроекологічний журнал*. 2021. №2, С.117-124. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234468>
5. Піковський М. Й., Кирик М. М. Екологія фітопатогенних грибів: методичні рекомендації. К, 2006. 25 с.
6. Патики В. П., Омелянець Т. Г., Гриник І. В., Петриченко В. Ф. Екологія мікроорганізмів: Посібник; за ред. В.П. Патики. К.: Основа, 2007. 192 с.
7. Coleman D. C. Crossley D. A, Hendrix P. F. *Fundamentals of soil ecology*. Amsterdam: Elsevier Academic, 2004. 250 p.
8. Dighton J. *Fungi in ecology processes*. New York; Basel: Marcel Dekker, Inc., 2003. 434 p.
9. Bridge P., Spooner B. Soil fungi: diversity and detection. *Plant. Soil.*, 2001. Vol. 232. P. 147–154. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010346305799>
10. Грум-Грижайло О.А., Биланенко Е.Н. Микроскопические грибы как компонент экосистемы верховых болот. *Микология и фитопатология*. 2010. Т.44. С. 495–494.
11. Barrios E. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecol. Econ.* 2007. Vol. 64. P. 269–285. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.004>

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

---

12. Coleman D. C., Crossley D. A., Hendrix P. F. *Fundamentals of soil ecology*. Amsterdam: Elsevier Academic, 2004. 250 p.

13. Kelly J. J., Haggblom M. M., Tate R. L. Effects of heavy metal contamination and remediation on soil microbial communities in the vicinity of a zinc smelter as indicated by analysis of microbial community phospholipid fatty acid profiles. *Biology and Fertility of Soils*. 2003. Vol. 38, № 2. P. 65–71. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0642-1>

14. Цигічко Г. О. Зміни функціональної структури мікробних угруповань чорнозему типового залежно від систем удобрення. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2013. Вип. 79. С. 102–105.

15. Fao Statistical Programme of Work 2016–2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017. 69 p.

16. Dimitrova N. R. Untersuchungen zur Charakterisierung ausgewählter pflanzlicher Inhaltsstoffe aus Pflanzen der Gattung *Allium* : dissertation doctor rerum naturalium: 29.05.13. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2013. 147 p.

17. Пересипкін В. Ф. Сільськогосподарська фітопатологія. К.: Аграрна освіта, 2000. 303 с.

18. Pandey S. N. Diversity, functions, and stress responses of soil microorganisms. *Plant microbiome: Stress response. Microorganisms for Sustainability*, 5. 2018. P. 1–19.

19. Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini M. T. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*, 2003. P.655–670. DOI: <http://doi.org/10.1046/j.1351-0754.2003.0556.x>

20. Crowder D. W., Northfield T. D., Strand M. R., Snyder W. E. Organic agriculture promotes evenness and natural pest control. *Nature*. 2010. Vol. 466. С. 109–112 DOI: <http://doi.org/10.1038/nature09183>

21. Krauss J. Decreased functional diversity and biological pest control in conventional compared to organic crop fields [Електронний ресурс]. PLoS. 2011. Vol. 6 (5).

22. Luz W. C., Stockwell C. A., Bergstrom C. A. Biological control of *Fusarium graminearum*. APS Press, 2003. P. 381–394. DOI: <http://doi.org/10.1080/07060660909507590>

## РОЗДІЛ 6. ЖИТТЄВІ ЦИКЛИ МІКРОМІЦЕТІВ В АГРОЦЕНОЗАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

---

23. Ma L. J. Geiser D. M., Proctor R. H., Rooney A. P. Fusarium Pathogenomics. *Microbiol.* 2013. Vol. 67. P. 399–416. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-092412-155650>

24. Пати́ка В. П., Омеля́нець Т. Г. Екологічні основи застосування біологічних засобів захисту рослин як альтернативи хімічним пестицидам. *Агроекологічний журнал.* 2005. Вип. 2. С. 21–24.

25. Татарінова В. І., Бурдула́нюк А. О., Рожкова Т. О. Фітопатогенний контроль агроценозів зернових культур. *Вісник Сумського національного аграрного університету: науковий журнал. Сер. "Агрономія і біологія".* 2018. Вип. 3 (35). С. 8–13.

26. Dighton J. Fungi in ecosystem processes. *Marcel Deccker Inc.* 2003. P. 22–26.

27. George N. Plant pathology. Agrios. USA : Department of Plant Pathology University of Florida. 5th ed., 2005. 922 p.

28. Paul E. A. Soil microbiology, ecology and biochemistry. New York: Academic Press. 2007. 514 p

29. Мярютін Ф. М., Пантелеєв В. К., Білик М. О. Фітопатологія: Навчальний посібник. Харків: Еспада. 2008. 552 с.

30. Фуртат І. М., Остапюк Н. А., Антонюк М. З. Біологічні особливості та екологія представників роду *Fusarium*, збудників захворювань злаків. *Наукові записи НАУКМА.* 2017. Том 197. Природничі науки. С. 3–18.

31. Парфенюк А. І., Благініна А. А. Вплив метаболітів рослин сортів пшениці озимої на життєві стратегії гриба *Fusarium oxysporum* Schltdl. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна.* 2014. Випуск 65. С. 372–378

32. Pavlović Snežana Đ, Stojšin Vera B., Stojanović Saša D., Starović Mira S., Bagi Ferenc F., Budakov Dragana B. (2009) *Gibberella intermedia* the pathogen of St. John's Wort, coneflower and marshmallow in Serbia. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke* 2009 Issue 116, Pages: 191–199

33. Cedeño L., Carrera C. & Jaimez, Ramon. Pudricion basal del ajidulce por *Haematonectria*. *Haematococca en el estado merida.* 2003. Vol 28 № 10. P 590-592.

---

## РОЗДІЛ 7.

### ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

*Тертична О.В.*

**Ключові слова:** *птахівництво, штучна система, ектопаразити, *Dermanysus gallinae*, антропогенний вплив.*

В зв'язку з трансформацією навколишнього природного середовища, внаслідок антропогенного тиску на штучні екосистеми, наприклад птахогосподарства, відбуваються динамічні зміни в біосфері, які коректують міжвидову взаємодію типу «паразит – господар». Через антропогенний вплив у птахівничих господарствах відбувається порушення саморегуляції паразитарних систем, наслідками якої є зниження стійкості, збільшення патогенності паразитів та здатність змінювати господаря [1].

Проблема розповсюдження паразитофауни є досить поширеною для спеціалізованих тваринницьких агробіоценозів, де на відносно малих площах сконцентрована значна кількість поголів'я. Висока щільність розміщення тварин створює сприятливі умови для інтенсивного розвитку збудників захворювань різної етіології, переносниками яких є, головним чином, ектопаразити. Птахогосподарства, завдяки своїм практично безперервним виробничим циклам, потерпають від поширення популяцій членистоногих, які мають багате видове різноманіття, плодючість та екологічну лабільність.

Швидке зростання виробництва птахопродукції, що проявляється в збільшенні попиту на м'ясо та яйця птиці призводить до підвищення концентрації птахопоголів'я на одиницю площі тваринницького господарства. Створення оптимальних умов мікроклімату в приміщеннях, механізм видалення підстилкових матеріалів та посліду, залишків комбікормів створюють сприятливі умови для цілорічного розвитку та існування ектопаразитів [2].

Поширення ектопаразитів у птахогосподарствах призводить до значних економічних збитків, в зв'язку із зниженням приростів, загибелі птиці, затрати фінансів на лікування та профілактичні методи. Членистоногі пошкоджують запаси

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

комбікормів, є біологічними агентами алергічних захворювань і переносниками збудників небезпечних хвороб. На сьогодні на промислових тваринницьких господарствах ідентифіковано десятки представників паразитичних комах та кліщів, зоофільних або синантропних видів, а також сотні видів супровідних безхребетних тварин [3]. Тому дослідження такої екологічної міжвидової взаємодії як паразитизм є актуальним екологічним аспектом оцінювання угруповань членистоногих в умовах виробництва птахопродукції. Паразитизм представляє собою взаємодію організму паразита й організму хазяїна. У цьому сенсі вивчення цього явища та особливостей паразитів є частиною екологічної науки, що вивчає особливий тип міжвидових взаємовідносин. Розвиток сучасних уявлень дозволяє проводити дослідження паразитизму у відносно нових областях, що характеризують взаємодії особин паразитів з їхніми хазяїнами на рівні фізіологічних реакцій, обміну речовин, функціонування окремих генів. З іншого, боку не менш продуктивним виявляється і підхід, що аналізує взаємодію популяцій паразита та хазяїна, а також біоценотична роль паразитів.

У вітчизняних та іноземних птахогосподарствах акарози та ентомози курей характеризуються багаточисельним і різноманітним за систематичним положенням видовим складом безхребетних, які належать до типу Членистоногих – *Arthropoda*, класу комах – *Insecta* і павукоподібних – *Arachnoidea*. На птиці промислового напрямку найчастіше паразитують: пташині червоні кліщі *Dermanyssus gallinae* (De Geer, 1778), що належать до ряду Parasitiformes, надродина Gamasoidea, родини Dermanyssidae; кліщі *Ornithodoros sylviarum* (Canestrini & Fanzago, 1877) та *Ornithonyssus bursa* (Berlese, 1888), роду *Dermanyssus* родини Macronyssidae підряду Mesostigmata; кліщі *Knemidocoptes mutans* та *K. laevis*, підряд Acariformes, надродина Sarcoptoidea, родина Sarcoptidae; перський кліщ *Argas persicus* (Oken, 1818) ряд паразитиформні кліщі, ряд Ixodida, рід *Argas*; пухопероїди (Mallophaga) класифіковані Redi, 1668, відносяться до родини безкрилих комах (Menoponidae) монотипічної надродина Menoponoidea, ряду Phthiraptera – *Menacanthus stramineus* (Nitzsch, 1818), *Goniocotes hologaster*, *Lipeurus heterographus*, *Eomenacanthus stramineus*, *Menopon gallinae* (Linn.), *Menacanthus cornutus*); по-

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

стільні клопи *Cimex lectularius* (Linne., 1755), яких відносять до ряду Hemiptera, родини Cimicidae, роду *Cimex Linnaeus*; блохи *Echidnophaga gallinacea* (Westwood, 1875) з родини Pulicidae. Іноді, на птицю нападають щурячі блохи – *Xenopsylla cheopis* (Rothschild et al., 1870), які відносяться до ряду Siphonaptera.

У європейській науковій літературі паразитування пташиного червоного кліща (*D. Gallinae*) почали описувати понад 30 років тому. Серед низки екологічних наслідків, зумовлених бурхливим розвитком виробництва птахопродукції, питання поширення ектопаразитів у птахогосподарствах, зокрема *D. gallinae*, є актуальними для вітчизняних і зарубіжних дослідників різної спеціалізації. Визнано, що паразитична акарофауна належить до переліку біологічних агентів, що негативно впливають на розвиток птахівництва загалом. Із цим ектопаразитом активно борються Норвегія, Швейцарія, Македонія та інші країни ЄС (рис. 1).



**Рис. 1. Поширення *D. Gallinae* у птахогосподарствах Норвегії, Швейцарії, македонії та країн ЄС**  
Джерело: Ethan Carter, 2014.

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

Ектопаразит завдає шкоди не тільки здоров'ю птиці, а також і працівникам птахофабрик. Цикл розвитку цього гематофага може складати при оптимальних умовах всього 6 днів, дорослий кліщ може жити без їжі (без птиці) 5 – 10 місяців. У світі *D. gallinae* реєструють в регіонах до 60° північної широти, де він становить значну загрозу для курей. Значно поширений курячий кліщ у країнах Африки, Близького Сходу та Азії, Європи та США [4].

Ектопаразити є проблемою при вирощуванні домашньої птиці, як промислових так і у фермерських та присадибних господарствах. Під час обстеження пташників у присадибних господарствах Південної Каліфорнії виявляли *D. gallinae* у 55%, також пухопероїдів *Lipeurus caponis* – у 20%, *Menopon gallinae* – у 15%, *Goniocotes gallinae* – у 3%, *Menacanthus stramineus* – у 5%, *Cuclotogaster heterographus* – у 5%; блох виду *Echidnophaga gallinacea* – у 20%, паразитичних кліщів *Ornithonyssus sylviaru* – у 15% та *Knemidocoptes mutans* – у 10% [4]. У присадибних пташниках у Колумбії *D. gallinae* виявляли у 8,5% птахогосподарств. Поряд з цим виявляли таких ектопаразитів як *Menacanthus stramineus*, *Menopongallinae*, *Cuclotogaster heterographus*, *Goniocotes gallinae*, *Ornithonyssus bursa*, *K. mutans*. Низка закордонних авторів [5]. повідомляють про паразитування ПЧК у птахогосподарствах Бразилії.

Високі показники розповсюдження кліщів пов'язані з порушенням санітарних норм утримання птиці. Так, наприклад, поширення *D. gallinae* вивчали на птахофермах в 4 районах Палестини (Дженін, Туби, Наблус та Тулькарм). Найбільша інвазованість курячим кліщом відмічалась у районі Тулькарм – 47,3%, що пояснюється жарким та вологим кліматом району [6]. На території Швеції у всіх типах птахогосподарств курячий кліщ є широко розповсюдженим видом ектопаразитів. Інтенсивність інвазії в них складає більш 73%. Найбільшою проблемою є наявність кровавих цяток на шкаралупі яєць, роздзьобування та падіж птиці [7]. Maurer V., Perler E. відзначають, що в середині 1990-х років курячий кліщ виявлявся, переважно, при клітковому утриманні птиці. В останні роки все частіше ектопаразит зустрічається і при підлоговому утриманні курей. Пташиний червоний кліщ є значно розповсюдженим у птахогосподарствах Польщі і

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

закліщеність ним становить до 100% [8]. Дослідники провідних науково-дослідних інститутів Великобританії, Швейцарії та Франції (George, D.R., Finn, R.D., Graham, K.M., Mul, M.F., Maurer, V., Moro, C.V. Sparagano, O.A.E.) прийшли до наступних висновків: генетична пластичність виду *D. gallinae*, його постійна інвазія у великих птахогосподарствах може бути потенціалом для паразитування на інших видах хазяїв (кішка, собака, кролі, коні та гризуни). У зону ризику інвазованості, також, може потрапляти і обслуговуючий персонал птахоферм. Очікується, що розширення торгово-економічних зв'язків та наслідки зміни клімату можуть сприяти розширенню кола хазяїв ектопаразита. За результатами досліджень колективу авторів з університету Ковентрі (Великобританія) було спрогнозовано зростання щільності кліща до 50 тис на одного птаха в умовах кліткового утримання, а подекуди й до 500 тис. Аналізуючи дані розповсюдження курячого кліща за останнє десятиріччя в 11 країнах Європи можна зробити висновок, що з кожним роком чисельність популяцій *D. gallinae* на птахогосподарствах з отримання яєчної продукції стрімко зростає (рис. 2). Майже 83% птахогосподарств яєчного напрямку страждають від розповсюдження ПЧК [9]. Втрати на виробництві через стрес птиці, зумовлені популяціями кліща, можуть бути доволі високими, проявлятися анеміями і навіть смертю шляхом знекровлення тварин. Інфікування ектопаразитами може також призводити до зниження якості яєць (внаслідок тонкості і плямистості оболонки) та їх виробництва. За дослідженнями Van Emous та ін. *D. gallianae* є шкідливим і спричиняє загрозу для яєчних несучок в багатьох частинах світу зокрема в США, Європі, Японії та Китаї.

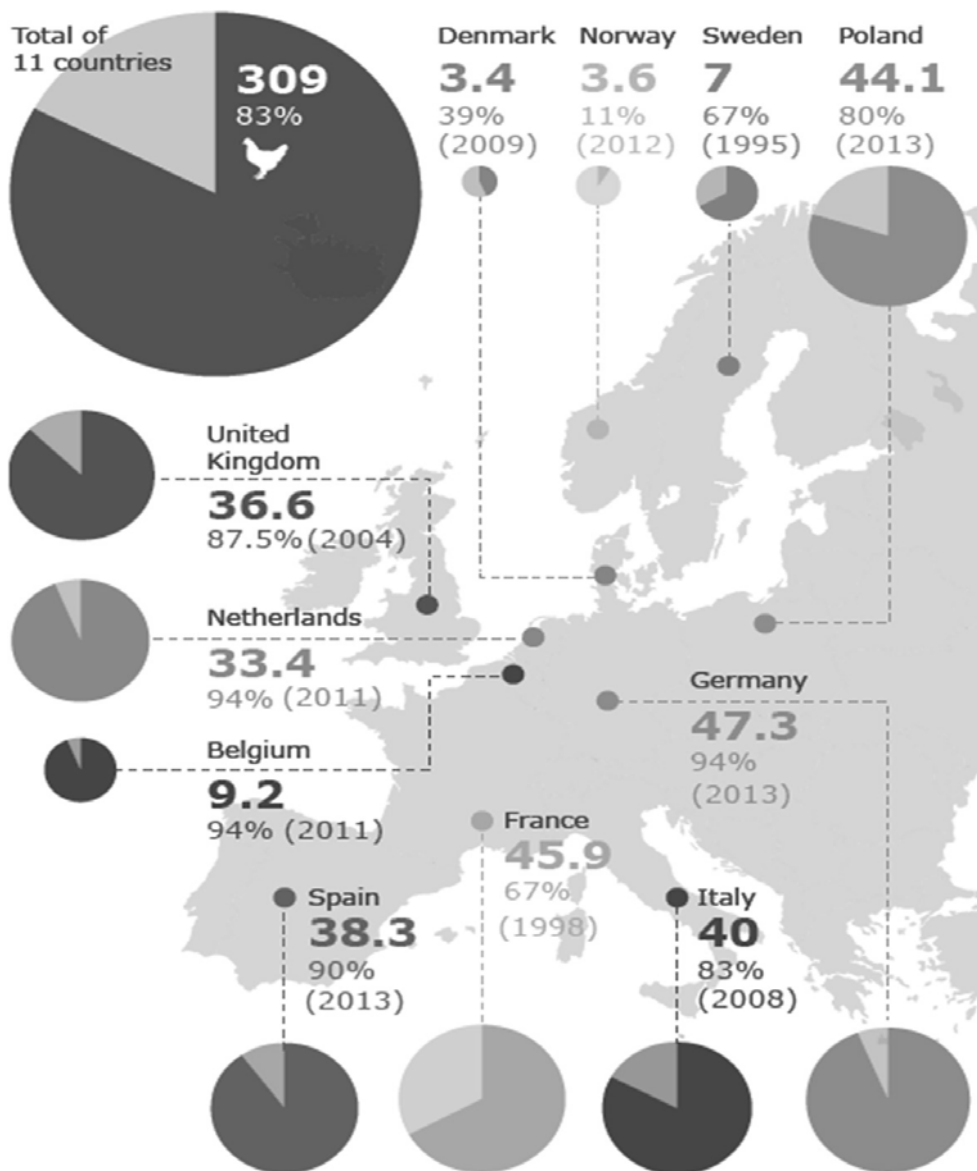
Економічні збитки від паразитування кліщів складають 0,29 € на курку в результаті зниження показників її продуктивності та 0,14 € треба витратити на одну птицю для лікування від ПЧК. В масштабах Євросоюзу ця цифра складає щорічно 130 млн € [10].

Одним із найнебезпечніших паразитів-гематофагів для птиці є курячий кліщ *D. gallinae*. Цей ектопаразит виявляється в різних кліматичних зонах нашої країни [11]. Українські дослідники Богач М.В., Сіренко О.С., Міщенко А.А., Машкей А.М., Пономаренко О.В., Коломацький А.П. висвітлили питання роз-



## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

повсюдження та локалізації ектопаразитів при виробництві птахопродукції [11]. Курячий кліщ, є особливо поширеним на півдні України, де завдає значних збитків птахівництву, інколи нападає і на домашніх ссавців (рис. 3).



**Рис. 2. Кількість курей-несучок на одну країну в мільйонах і відсоток фермерських господарств, заражених *D. gallinae***

Джерело: Зображення відтворено за допомогою Livestock Research, 2012.

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА



**Рис. 3. Поширення *D. Gallinae* у регіонах України**

Джерело: за даними А.П. Палій, А.М. Машкей, Н.В. Сумакова, К.В. Іщенко, 2018.

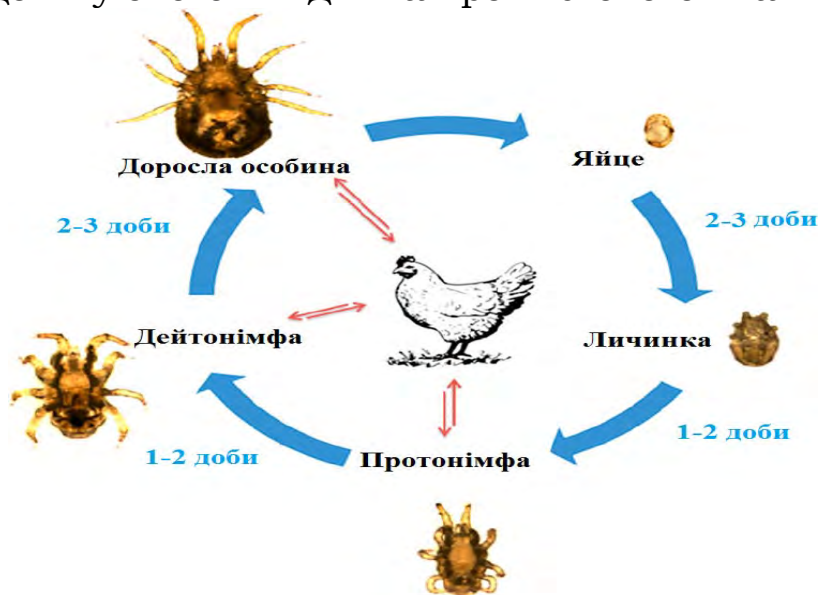
На території Полтавської області у птиці виділено чотири види малофаг: три види з родини *Menoponidae* (*Menopon gallinae*, *M. stramineus*, *M. cornutus*) та один вид із родини *Goniodidae* (*G. hologaster*) [12].

У наукових працях Фотіної Т.І., Нагорної Л.В. запропоновано лікарські препарати для боротьби з ектопаразитами птиці, розглянуто ветеринарні та паразитологічні питання впливу акарицидів на *D.gallinae* [13].

Нині популяції *D. gallinae* (курячий кліщ, пташиний червоний кліщ, poultry red mite.) становлять особливу біологічну загрозу сучасному птахівництву через їх генетичну пластичність, резистентність, адаптацію до різних умов, здатність харчуватись кров'ю, цикл розвитку може складати при оптимальних умовах всього 6 днів, дорослий кліщ може жити без їжі (без птиці) 5-10 місяців (рис.4). Розвиток неповний. Стадії розвитку - яйце, личинка, протонімфа, дейтонімфа та імаго. Присутній статевий диморфізм – самка відрізняється від самця розмірами тіла. Яйце овальне. Довжина - 0,3 мм, ширина - 0,15 мм. Личинка має три пари ніг. Довжина тіла - 0,34-0,4 мм. У протонімфи присутні чотири пари ніг. Тіло овальної форми, з опуклою спинною стороною. Колір як і у личинки

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

майже прозорий та довжина тіла голодної протонімфи - 0,4 мм, а коли насмокчеться крові то збільшується в розмірах і стає червонувато-бурою. Досить схожа із попередньою фазою, фаза дейтонімфи. Довжина тіла голодної особини – 0,58мм. Вдень імаго ховаються в щілинах гнізд, кліток, стін, стель, смітті, підстилці та інше. В нічний час нападають на господаря і смокчуть кров від кількох хвилин до декількох годин і більше. Протягом цього часу поглинається така маса крові яка перевищує масу голодного кліща в 10 разів. Саме тому, є дані, що він може існувати без господаря 8-9 місяців. Швидкий життєвий цикл курячого кліща, безсумнівно, надає йому статусу домінуючого шкідника промислового птахівництва.



**Рис. 4. Схема життєвого циклу *D. gallinae***  
Джерело: сформовано автором.

Таксономічне положення. *D.gallinae* до класу Павукоподібні, надряду Паразитоморфні кліщі (*Parasitiformes*). На сьогодні ідентифіковано та визначено дуже велику кількість паразитоморфних кліщів. Це надряд до якого входить 3 ряди (*Mesostigmata*, *Holothyridae*, *Ixodida*). В свою чергу, лише ряд *Mesostigmata* (*Gamasida*) або Гамазові кліщі, до якого і належить пташиний червоний кліщ, включає у своє різноманіття 100 родин, 900 родів і більше 8000 видів.

Морфо-біологічні особливості. Довжина тіла самки- 0,75-0,84 мм, ширина - 0,4 мм. Тіло овальної форми. Самець відріз-

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

няється від самки значно меншими розмірами тіла - 0,6-0,63 мм, ширина – 0,32 мм. Цикл розвитку цього паразита залежить від температури, тому в теплих приміщеннях може розвиватись круглорічно, мінімальна тривалість циклу розвитку кліща становить 10-14 діб, хоча існують твердження що паразит може розвиватись. Кліщі, як і будь-які інші групи паразитів вміють швидко пристосовуватись до різних умов існування. Протягом еволюції в них відбуваються і морфологічні зміни, наприклад ротовий апарат призначений для проколювання шкіри та всмоктування крові, травна система і покриви тіла здатні до розтягування, що дозволяє їм рідше харчуватися.

Вплив екологічних факторів на формування та розвиток популяцій *Dermanyssus gallinae*. Швидкий життєвий цикл *D. gallinae*, безсумнівно, надає йому статусу домінуючого шкідника промислового птахівництва. До того ж в умовах його інтенсифікації створюються оптимальні умови для його активного розмноження: температура (20-25°C), вологість (70-95%), ущільнене утримання птиці. Проблема поширення ектопаразитів в птахогосподарствах та екологічна оцінка популяцій курячого червоного кліща є перспективною та актуальною і в свою чергу потребує екологічного підходу до її вирішення з урахуванням всіх особливостей видів, закономірностей динаміки популяцій, впливу абіотичних факторів, в першу чергу температури, що є важливим в умовах глобальної зміни клімату.

Відомо, що для прогресування розвитку життя або, навпаки, регресу того чи іншого організму необхідна дія певних чинників. Шведськими вченими (Nordenfors H., Höglund J., Uggla A.) у Департаменті паразитології Національного ветеринарного інституту були проведені дослідження впливу температур та вологості на розвиток різних стадій життєвого циклу курячого кліща та його виживання. Особин на різних стадіях розвитку зберігали в пробірках і піддавали впливу різних температур та вологості, а також було досліджено відкладання ними яєць за цих абіотичних умов. Ці дослідження засвідчили, що *D. gallinae* може існувати впродовж тривалого часу без живлення за відповідних мікрокліматичних умов, але кліщ не

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

розмножується при низькій відносній вологості і екстремальних температурах.

Найбільш небезпечним є те, що *D. gallinae* є переносником збудників трансмісивних та інвазійних хвороб. Гамазові кліщі здатні переносити майже всі групи збудників захворювань (віруси, рикетсії, бактерії, спірохети), найпростіші (гемоспоридії, гемогрегарини, джгутикові) і є проміжними господарями деяких паразитичних червів, носієм багатьох збудників таких хвороб як мікоплазмоз, пастерельоз, бореліоз, орнітоз, холера та чума птиці, Ку-лихоманка, сальмонельоз та ін. Будь-який окремих кліщ є потенційним приховувачем кількох патогенних мікроорганізмів [14].

В іноземній літературі описано випадки ураження кліщем людини, внаслідок якого виникає дерматит. Особливо важливими є питання біобезпеки та ветеринарного благополуччя птиці з огляду на здатність кліща бути переносником багатьох хвороб: віспи-дифтериту птахів, пастерельозу курей, кліщового паралічу птахів, хвороби Ньюкасла, збудника лихоманки-Ку і резервуаром збудника риккетсіозу Бернета, а також заражати курей спірохетами та бути переносниками деяких вірусів (у т. ч. енцефаліту курей). Розвиток резистентності до акарицидів робить контроль за популяціями *D. gallinae* складнішим. Найбільш стійким до акарицидів ектопаразит є в таких країнах як: Великобританія, Швеція, Франція та Італія [15; 16; 17; 18].

В таблиці 1 наведеній нижче вказані найбільш поширені бактеріальні та вірусні патогени пов'язані з *D. gallinae*.

Таблиця 1.

### Бактеріальні та вірусні патогени пов'язані з *D.gallinae*

Патоген	Зв'язок
<b>Бактерії</b>	
<i>Salmonella gallinarum</i>	Ізольовані від кліщів
<i>Pasteurella multocida</i>	Трансмісивна передача
<i>Erysipelthrix rhusiopathiae</i>	Ізольовані від кліщів
<i>Listeria monocytogenes</i>	Ізольовані від кліщів

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

<i>Coxiella burnetii</i>	Трансмісивна передача
<i>Nocardia brasiliensis</i>	Ізольовані від кліщів
<i>Mycoplasma synoviae</i>	Ізольовані від кліщів
<b>Віруси</b>	
Хвороба Ньюкасла	Ізольовані від кліщів
Вірус пташиної віспи	Трансмісивна передача
Сент-Луїс енцефаліт	Ізольовані від кліщів
Кліщовий енцефаліт	Ізольовані від кліщів
Східний кінський енцефаліт	Трансмісивна передача
Західний кінський енцефаліт	Трансмісивна передача
Венесуельський кінський енцефаліт	Трансмісивна передача

*Джерело:* сформовано автором.

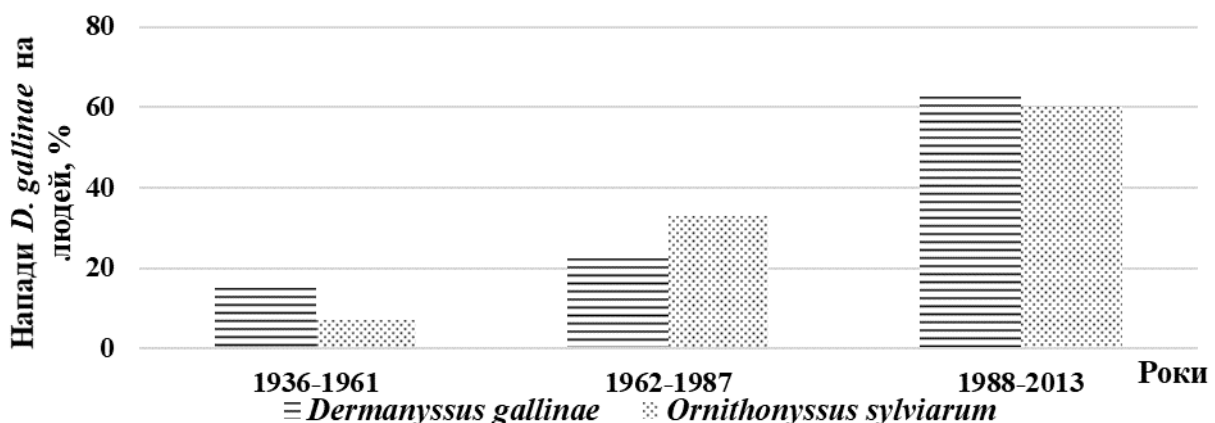
Основне захворювання, яке викликають пташині червоні кліщі, називається дерманісіоз – інвазійна хвороба свійської птиці, синантропних та диких птахів всіх статевих та вікових структур, з гострим або хронічним перебігом. Саме вона характеризується анемією, зниженням продуктивності, виснаженням та загибеллю птиці, особливо молодняку віком до трьох місяців. Захворювання реєструється як у світі так і на території України, що призводить до значних економічних збитків птахопідприємств. Гамазові кліщі можуть завдавати шкоду не тільки тваринам, але і людині своїми укусами та здатністю викликати як свербіж так здійснювати передачу різних хвороб. Більше випадків про гамазові кліщі, які спричиняють загрозу для людей, було зареєстровано у XVII ст. та задокументовано в провідній медичній літературі ще з 1920-х років [19] і розглянуто за останні 15 років.

В 2015 році в науковій літературі з'явилися повідомлення що *D. Gallina* виступає в якості збудника меліюдоза в п'яти пацієнтів, які вели домашнє господарство в Сербії та мали контакт з птицею [20]. Багато випадків із перенесенням збудників хвороб, якими є гамазові кліщі, як правило, пов'язані із низкою саме синантропних або здичавілих птахів, які можуть

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

гніздитись на птахогосподарствах і часто призводити до різних дерматологічних скарг.

У закордонних птахогосподарствах існує пункт «професійний ризик» для працівників птахоферм, який і стосується саме нападів курячого кліща на людину, оскільки є припущення що даний паразит може заковтувати і кров людини. Лабораторні дослідження з Центру інфекційних хвороб США демонструють, що ці кліщі можуть індукуватись і харчуватись кров'ю людини. Слід зауважити, що інший ектопаразит Північний пташиний кліщ (*O. sylviarum*) не має такої здатності. Цікавими є наукові повідомлення, наприклад, з Гавайських островів за останні 10 років, які дозволяють припустити, що гамазові кліщі стали сильно пов'язані з людьми за досить короткий період часу (Eco Smart Pest Control). Згідно з даними Cafiero M.A., Galante D., Camarda A., Giangaspero A., Sparagano O., Williams R.W., останнім часом з'являються повідомлення про наявність гамазових кліщів у житлових установах, а також в угрупованнях синантропних птахів. Місцезнаходження *D. gallinae* досить широке: житлові будинки, лікарні, офісні приміщення, птахогосподарства промислові і фермерські. Інший ектопаразит *O. sylviarum* також був відмічений в житлових будинках, лікарнях, птахогосподарствах, але не знайдений в офісних приміщеннях [21]. На рис. 5 показано динаміку випадків нападу на людину гамазових кліщів за останні 70 років.



**Рис. 5. Випадки укусів людини курячим кліщем (1936 - 2013 рр.), %**

Джерело: узагальнено автором за матеріалами [22].

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

Дані наведені на рис. 6 свідчать, що з 1936 р. по 1961 р. популяції кліща становили 15%, а до 2013 р. зросли в 4 рази і досягнули 62,5%. В той час як паразити виду *O. sylviarum* збільшили свій діапазон від 7% до 60%, але впродовж 1962 – 1987 рр. перевищували ПЧК у 1,5 раза. Потенційне небезпечне медичне значення *D. gallinae* посилює той факт, що кліщі можуть нести і передавати зоонози як бактеріальної так і вірусної етіології від заражених птахів до людей, але наразі таких літературних даних досить мало щоб стверджувати це на 100%.

З огляду на це екологічні аспекти формування популяцій паразитичної акарофауни на птахогосподарствах, необхідно досліджувати і прогнозувати в залежності від різних умов, абіотичних та біотичних факторів з метою запобігання випадків нападу *D. gallinae* на птицю та працівників птахогосподарств.

Проблема поширення ектопаразитів у птахогосподарствах є актуальною, що потребує екологічного підходу до її розв'язання з урахуванням усіх особливостей видів, закономірностей динаміки популяцій, впливу абіотичних чинників, насамперед температури, що є важливим в умовах глобальних змін клімату.

Екологічне оцінювання, виявлення закономірностей формування популяцій *D. gallinae* є перспективним питанням біобезпеки. Контроль чисельності ектопаразитів під час виробництва птахопродукції потребує поглиблених аутокологічних та синекологічних досліджень.

**Екологічні особливості вторинно-штучних осередків акарозів та шляхи протидії їх формуванню.**

Гомеостаз системи «паразит – господар» є необхідною умовою довговічного існування біоценозів і збереження їх видового різноманіття. З екологічної точки зору популяційна чисельність паразитів завжди корелює з кількістю наявних для них господарів, оскільки загибель господаря призвела б до загибелі і паразита. Також на зростання чи зниження популяції паразитів впливає комплекс екологічних факторів – біотичних, абіотичних та антропогенних. До основних біотичних факторів належить сам збудник, ареал його поширення в біоценозах, особливості біології та шляхи потрапляння



## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

до хазяїна. До абіотичних факторів належать: кліматичні умови, тиск, вологість, освітлення, що може згубно впливати на ріст і розвиток популяцій системи «паразит – хазяїн». До антропогенних факторів можуть належати перетворені людиною природні ландшафти на аграрні, внаслідок чого людина знищує фауну та флору природи і створює оптимальні умови для розвитку популяцій паразитів.

З профілактичною метою запобігання захворюваності птиці використовують широкий спектр лікарських засобів різних форм (водорозчинні емульсії, порошки, суспензії, водорозчинні гранули, розчини).

Синтетичні піретроїди поєднують у собі невисоку токсичність рослинних препаратів і високу ефективність хімічних інсектицидів. Першим синтетичним піретроїдом був перметрин. На основі перметрину у лікувальну практику впроваджено ефективні інсектоакарицидні препарати – пермезоль, стомазан, циперметрин. Це малотоксичні сполуки, що проявляють високу активність проти ектопаразитів, крилатих комах і кліщів. Вони не акумулюються в організмі тварин і швидко руйнуються в зовнішньому середовищі. Синтетичні піретроїди випускають в аерозольних балонах, що зручно для локальної обробки уражених ділянок на тваринах і для дезінсекції невеликих за об'ємом приміщень. Період напіврозпаду синтетичних піретроїдів сягає близько 28 днів.

Одною з вагомих ознак ектопаразитів та синантропних комах є їх швидкі адаптації до середовища в якому вони живуть. Однією із таких адаптацій – є здатність виробляти швидку резистентність до хімічних інсектоакарицидів. Стійкість організму до пестициду – це біологічна властивість чинити опір його біоцидній дії. Стійкий організм нормально функціонує, розвивається і розмножується в середовищі, що містить отруту.

Набута стійкість паразитичних членистоногих визначається як несприйнятливість до дії засобів, у результаті зниження з часом чутливості до препарату. Тривале використання інсектоакарициду в господарстві обов'язково призводить до виникнення стійкості, до його активно діючих речовин в цілому і спадкової, зокрема. Однією із причин стійкості до засобів захисту наприклад у артроподряду твердокрили

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

(жуки) наявні більш тверді шкірні покриви, ніж у комах інших рядів. Личинки старшого віку мають більше білків і жирів та відрізняються підвищеною склеротизацією покривів порівняно з личинками молодшого віку. До захисних бар'єрів належить і жирове тіло, де токсиканти локалізуються і розщеплюються ще до надходження до життєво важливих центрів організму. Відсутність овіцидних властивостей у деяких пестицидів зумовлена значною мірою ускладненням проникнення їх через хоріон (оболонку) яйця. Часто у членистоногих виробляється перехресна стійкість або крос-резистентність до діючих речовин інсектоакарицидних засобів. Принцип перехресної стійкості зводиться до сумісного використання генів стійкості до різних ектоцидних засобів, що мають аналогічний спосіб використання. На основі даних зарубіжних дослідників з'ясовано, що перехресна стійкість виникає за використання фосфоорганчних сполук та карбаматних акарицидів [23]. Принцип виникнення крос-резистентності пов'язується з підбором нечутливої ацетилхолінестерази. Ротація різних хімічних груп інсектоакарицидів, для яких не притаманне виникнення перехресної резистентності, частково попереджає виникнення стійкості.

Оскільки найбільш поширеним засобом боротьби із паразитичними кліщами та комахами-шкідниками є хімічний, постають нові завдання для створення альтернативних методів контролю популяцій паразитичної акарофауни. Знищити пташиного червоного кліща набагато складніше, ніж інших ектопаразитів, оскільки це тимчасовий гематофаг, який перебуває на птиці тільки в період живлення. В зв'язку з цим виникають нові альтернативні засоби боротьби, одним з яких є використання препаратів природного походження на основі ефірних олій: перцевої м'яти, часнику, кориці, коріандру тощо. Дослідженнями підтверджено достовірність ефектів використання рослинних екстрактів, що в майбутньому надасть змогу відмовитися від шкідливих для довкілля пестицидів.

Нині є повідомлення закордонних дослідників про використання ефіроолійних рослин в якості акарицидів. Емульсії ефірних олій з акарицидними властивостями все частіше застосовують у схемах протипаразитарних обробок птахогосподарств. В Україні існує незначна кількість засобів до складу

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

яких входять ефірні олії. Існує ряд переваг у використанні альтернативних засобів із акарицидними властивостями оскільки хімічно синтезовані препарати мають негативний вплив на навколишнє природне середовище, через накопичення метаболітів їх діючих речовин, та викликають резистентність у членистоногих внаслідок тривалого використання. Багато ефірних олій, як відомо, мають різну ефективність такі як овіцидна, репелентна, анти-їстівна або інші біоцидні властивості проти різних паразитичних членистоногих. Скорочення популяцій *D. gallinae* на 92% реєстрували після тестування картонних пасток, які містили 20% ефірної олії дерева Нім (*Azadirachta indica*) на підлоговій системі утримання [24]. Швейцарськими науковцями Maurer V., Perler E., Heckendorn F. доведено, що високі концентрації соку часника (*Allium sativum*) та хризантеми (*Chrysanthemum cinerariaefolium*) ефективні проти *D. gallinae* [25].

Дослідження ізраїльських вчених Компанії Кешет Пріма, створили препарат «Дерматоп» акарицидної дії у складі якого є ефірні олії кориці та часнику. Даний препарат виробляється у вигляді мікрокапсул і додається до комбікорму птиці. Доза розраховується у межах 2 кг препарату на тонну корму впродовж 10 днів. У результаті досліджень на птахогосподарствах Ізраїлю, через 2 – 4 дні на курах майже немає кліщів, гребінці із блідорожевих стають червоними. Через 10 днів кліщів взагалі не має на птиці, вони присутні на конструкціях кліткових систем, але прозорі, сухі та без крові. Кліщі агресивні і кусають персонал птахоферми. Вживання препарату птицею проводиться раз в місяць впродовж 7 днів. Механізм дії мікрокапсул відбувається таким чином, що препарат починає діяти безпосередньо в кишечнику птиці. З'являється запах часника в крові та подиху птиці. Препарат діє на органи чуття, функції нервової систем курячого кліща. Також змінюється склад крові птиці: зниження рівня цукру і жирів, розрідження крові. Відбувається дія на систему травлення кліща і безпосередньо взаємодія всіх перерахованих вище факторів. Дерматоп немає негативного впливу на поголів'я птиці, виробництво яєць та на людину. Акарицидна дія метанольного екстракту з 40 східних видів лікарських рослин і парового дистиляту камфорного дерева (*Cinnamomum*

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

*camphora*) проти *D. gallinae* був протестований Кім та ін. (2007), результати із *C. Camphora* показують, що з паровим дистилятом він є більш токсичним, а також із наступними екстрактами рослин: *Asarumsieboldivar. seoulens* (копитняк), *Eugenia caryophyllata* (Гвоздичне дерево) і *Mentha arvensis*. *Piper arvensens* (М'ята польова) [26]. Численні фактори, такі як географічне походження, сезонність, метод видобутку ефірної олії, рік врожаю і навіть умови зберігання можуть вплинути на її склад, тому результати різних досліджень токсичності не завжди можуть бути однаковими. Це є одним із пояснень відмінності в ефективності ефірних олій, які досліджуються одними науковцями в порівнянні з іншими. Сполеку рослинного походження можуть бути альтернативою пестицидам і дійсно, в останні роки, низка досліджень виявила акарицидну властивість натуральних рослинних екстрактів проти *Psoroptes cuniculi*, *Varroa destructor*, *Acarapis woodi*, *Dermatophagoides farinae* і *D. pteronyssinus*. George D.R., Sparagano O.A. та ін. випробували 7 ефірних олій таких рослин: чайне дерево, ялівець, м'ята болотна, чебрець, часник, гвоздика бутона і корицю, раніше визнані ефективними проти імаго *D. gallinae* та на двох видах твердокрилих – *Artemiasalina* і *Tenebriomolitor*. Результати, отримані англійськими вченими, свідчать що не всі ефірні олії були токсичними для *Artemiasalina* і *Tenebriomolitor*, як для *D. gallinae*, за винятком часнику [27; 28].

Дослідження хімічного складу ефірних олій необхідно удосконалювати у разі використання їх як акарициди та інсектициди проти паразитичних та синантропних членистоногих. Ефірні олії зі складним хімічним складом, можуть мати додаткову перевагу в порівнянні з ефірними оліями, у яких кількісний склад діючих речовин є значно меншим.

На сьогодні екологічний напрям досліджень, що стосується питання боротьби із паразитами та синантропними комахами птахогосподарств, є актуальним і потребує подальших досліджень щодо розширення низки видів рослин до складу яких входять фітонциди [29]. Таким чином, виникнення екологічних проблем, що завдають масові розмноження та поширення популяцій комах та кліщів у бройлерному виробництві птиці, можна віднести до ряду глобальних. Вони є

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

актуальними не тільки в Україні, але й для країн Європи, Америки та Азії. Великі збитки птахогосподарствам завдають ектопаразити, що призводить до зниження продуктивності птиці шляхом не тільки механічного її пошкодження (викликаючи анемію, стрес і загибель), але і здатністю переносити патогенні мікроорганізми, збудники хвороб та віруси. Доведено, що акароценози належать до переліку біологічних агентів, що негативно впливають на розвиток птахівництва в цілому.

В аспекті сучасного трактування паразитизму це вид взаємозв'язків між різними видами, за якого один з них (паразит) певний час використовує іншого (господар) як джерело живлення та середовище існування, частково чи повністю покладає на нього регуляцію своїх взаємовідносин з довкіллям. Паразитизм – це історично сформована асоціація генетично різного роду організмів, яка базується на імунобіологічних взаємовідносинах, харчових зв'язках і взаємообміні, при якому один (паразит) використовує іншого (господаря) в якості середовища існування і джерела харчування та завдає йому шкоду [30]. Вчені Stevens J.R. (Англія), Wallman J.F. (Австралія), Otranto D. (Італія), Wall R. (Англія) та Pape T. (Данія) висунули гіпотезу, що в процесі еволюції хребетних, близько 600 млн років тому, кілька груп членистоногих змогли почати використовувати тварин, як джерело харчування. Паразитизм у різних групах членистоногих виник незалежно один від одного [31; 32].

Як екологічна категорія, паразитизм поширений серед більшості класів тварин, а загальне число паразитів, за окремими оцінками складає не менше 10 – 20% від всієї кількості тварин. Найбільше паразитизм проявляється у членистоногих (*Arthropoda*), а саме в таких класах як: Ракоподібні (*Crustacea*), Павукоподібні (*Arachnida*) і Комахи (*Insecta*). Ще у XIX ст. паразитизм вважали однією із форм симбіозу (deBary, 1887). Під симбіозом розуміють різне облігатне співіснування двох організмів. Залежно від того який характер взаємних відносин, симбіоз поділяють на коменсалізм, мутуалізм і паразитизм. Відносини «паразит – господар» є надзвичайно динамічними і деякі з них можуть розглядатись як перехідні ступені від паразитизму до мутуалізму, що надзвичайно поширено

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

серед комах та кліщів. Паразитизм визначають як антагоністичний симбіоз двох різноіменних організмів [33].

Паразитизм – це історично сформована асоціація генетично різного роду організмів, яка базується на імунобіологічних взаємовідносинах, харчових зв'язках і взаємообміні, при якому один організм – паразит (від гр. *para* – близько, *sitos* – харчування) використовує іншого – хазяїна в якості середовища існування і джерела харчування. Вперше визначення поняття паразитизму було запропоноване І.І. Мечниковим (1874). Він стверджував, що справжніми паразитами є такі організми, які розвиваються і живляться за рахунок інших. Це висловлювання підтвердив Лейкарт (1879) [34]. Життя паразита пов'язано не лише хімізмом тканин своїх дефінітивних хазяїв та наявністю в певній місцевості того чи іншого паразита, а також залежить від більш складного комплексу факторів, у тому числі й господарських.

Ван дер Планком паразитичну взаємодію запропоновано розглядати як «трикутник хвороб». Суть цього «трикутника» полягає у взаємодії трьох складових: господар – паразит – навколишнє середовище, розміщених у трьох рівних площинах трикутника (рис. 6).



**Рис. 6. Вид паразитичної взаємодії за Ван дер Планком**  
Джерело: [33].

Кожна складова у трикутнику рівнозначна і взаємозалежна одна від одної. Пошкодження чи зниження впливу однієї складової має безпосередню пряму дію і на дві інші.

Сьогодні основними особливостями паразитичних організмів вважається багатократне використання ними інших

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

тварин в якості джерела живлення, не вбиваючи живителя і використовуючи його в якості середовища існування, покладаючи на нього частину функцій по регуляції відносин паразита з навколишнім середовищем і завдаючи хазяїну шкоду.

Важливими ознаками паразитів є облігатність метаболічної взаємодії партнерів, генетична залежність паразита від господаря і так званий перерозсіаний (негативний біноміальний) тип розподілу паразитів в популяціях живителя. В цьому випадку більша частина паразитів виявляється зосередженою в невеликій кількості особин живителів. Легко відмітити, що більшість перерахованих критеріїв паразитизму є похідними від двох, а саме: живителя як джерела їжі і середовища існування.

З огляду на це, підсумовуючи вищесказане: паразити це організми, які знаходяться в антагоністичному симбіозі з іншими тваринними організмами, які вони використовують в якості джерела їжі, середовища існування і на яких частково чи повністю покладають регуляцію своїх відносин з зовнішнім середовищем. Для виникнення і розвитку паразитизму найбільше значення мають два типи біоценотичних зв'язків – трофічні зв'язки членистоногих з хребетними тваринами і просторові (топічні) зв'язки з ними або ж з їх норами, гніздами і іншими місцеперебуваннями.

Згідно класифікації Беклемішева В.Н., у взаємозв'язках членистоногих з наземними хребетними можуть існувати наступні категорії прямих трофічних зв'язків (табл. 2).

Кожен із типів трофічних зв'язків наведених у табл. 2, можна закласти в основу формування системи «паразит – господар», що пояснюється багаторазовістю проявів і виникненням паразитизму у різних груп комах та кліщів незалежно один від одного.

Для розвитку просторових зв'язків між членистоногими і хребетними найбільш сприятливими є нори та гнізда останніх. Ці місця багаті окрім паразитів ще і на фауну вільноживучих безхребетних, які займають різні екологічні ніші. Становлення паразитизму у значній частині систематичних груп комах та кліщів (пухоїди, блохи, клопи, гамазові кліщі) виникло в норах їх майбутніх хазяїв. В умовах легкого доступу до організму господаря, або живителя неодноразово виникали переходи від хижацтва до гематофагії і ектопаразитизму.

**РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ  
СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА**

*Таблиця 2.*

**Типи прямих трофічних зв'язків між членистоногими  
та наземними хребетними**

<b>Тип А. Споживач (членистоногі) харчується живим тілом виробника (хребетні тварини) – саркофагія.</b>	<b>Тип Б. Споживач харчується виділеннями виробника – ксенофагія.</b>	<b>Тип В. Споживач харчується мертвими залишками виробника – некрофагія</b>
<p>1. Споживач повністю поїдає виробника – хижацтво. Цей тип відносин порівняно рідко зустрічається серед великих павуків чи комах, які нападають на дрібних ссавців і птицю.</p>	<p>1. Харчування виділеннями відбувається на тілі виробника. Поїдання слизу, гною та інших виділень багатьма мухами і деякими метеликами (міксофагія).</p>	<p>1. Харчування безпосередньо трупами тварин.</p>
<p>2. Споживач харчується за рахунок живих частин чи соків виробника, не з'їдаючи його повністю – різні форми паразитизму і суміжних з ними явищ. При цьому по характеру дієти розрізняють: а) саркофагія, (личинки міазних мух); б) гематофагію; в) лімфофагію.</p>	<p>2. Харчування виділеннями відбувається в зовнішньому середовищі. Поїдання випорожнень і погадок тварин (копрофагія).</p>	<p>2. Харчування розкладеними останками трупів, органічними рештками і мікроорганізмами які в них знаходяться (некросапрофагія і схізофагія).</p>
<p>3. Споживач харчується за рахунок неживих частин тварини – паразитизмі різні форми коменсалізм (пухоїди, пір'єві та волосяні кліщі), пов'язані з поїданням шерсті, пір'я і інших рогових утворень (кератофагія).</p>		

*Джерело: сформовано автором.*



## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

Топічні зв'язки обмежуються короткочасним перебуванням на тілі хребетних під час кровосмоктання із поєднанням місця і часу активності кровосисного паразита з джерелом їжі. Першим етапом становлення системи «паразит – хазяїн» є виникнення форичних зв'язків. Явище форезії, тобто розселення членистоногих за допомогою інших, більших та рухливіших комах чи ссавців і птахів має досить широке розповсюдження серед копрофагів.

Паразитизм як вид взаємовідносин можна розглядати тільки тоді коли організми пов'язані трофічними та топічними зв'язками.

В контексті еволюційних перетворень походження паразитизму – складне явище, як і саме походження життя на Землі. Паразитизм це продукт еволюції природнього середовища.

Це підтверджується багатьма факторами: адаптацією до різних типів і способів харчування представників класів ендота ектопаразитів; морфофункціональними змінами в процесі еволюції як зовнішніх так і внутрішніх органів паразитичних організмів; складним циклом розвитку зі зміною хазяїв і середовища, який добре прослідковується (особливо у ендопаразитів); специфічністю паразитів до паразитування на тваринах певних видів. Кожен із цих факторів представляє собою складну проблему в становленні паразита і взаємовідносин паразит – хазяїн. З еволюційної точки зору ектопаразитизм членистоногих утворився відносно недавно – після появи основних груп сучасних хребетних тварин. Найбільш древніми ектопаразитами, які з'явилися в період тріасу (біля 250 млн р тому), вважаються комарі, клопи та ін.

Паразит в організмі хазяїна – не індиферентне фізичне тіло, а біологічно активний агент, який в процесі життєдіяльності вступає в тісні фізико-хімічні і біологічні відносини з хазяїном. У ендопаразитів ці взаємовідносини найбільш тісні. Велику роль у взаємовідносинах паразит – хазяїн грають ферментно-гормональні фактори. Для встановлення системи «паразит– хазяїн», створення паразитичних відношень, вибору хазяїна і його прикріплення необхідні певні умови: хазяїн і паразит повинні вступати в контакт один з одним, це залежить від умов навколишнього середовища, поведінки членів трофічної

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

ланки і т.і.; хазяїн забезпечує умови для життєдіяльності паразита (місце існування, харчування та ін.); паразит має бути стійким до різних протидій хазяїна.

Середовища існування (хазяїн) впливає на морфологію і біологію паразита. Зміни будови тіла, які викликані паразитизмом, можна віднести до категорії або регресивних або прогресивних. Ознакою регресу є втрата крил у блох, вошей та клопів. Прогресуючою ознакою у паразитів є добре виражена репродуктивна здатність і здатність мати багато хазяїнів (проміжні, додаткові, резервуарні). Вплив паразита на організм хазяїна залежить від виду паразиту, їх кількості, місця існування і способу розмноження (на хазяїні чи поза його межами), фізіологічний стан тощо. Виділяють наступні типи впливу паразита на хазяїна: механічний, алергічний, токсичний, трофічний, інокуляторний.

Механічний вплив виражений у міграції личинок членистоногих і пошкодженню ними наприклад покривних тканин хазяїна, відповідно механічна зміна тканин призводить до порушення їх численних функцій, тому цей процес можна сприймати ширше – як морфофункціональна дія паразитів.

Алергічний вплив паразитів проявляється в тому, що в процесі життєдіяльності вони виділяють продукти метаболізму, секретії та екскреції, які мають алергени. Під їх впливом в організмі розвивається алергічна реакція, утворюється імунітет різного ступеню напруженості. Значне місце в цьому процесі займають і алергени соматичного походження (поліпептиди, протеїни, полісахариди і гліколіпіди). Ця дія притаманна в більшій мірі ендопаразитам, наприклад гельмінтам.

Токсичний вплив паразитичних організмів вивчено недостатньо. Токсичність характеризується у хворих тварин погіршенням загального стану, втратою апетиту, розладами шлунково-кишкового тракту, зниженням вмісту еритроцитів, гемоглобіну тощо. Трофічний вплив паразитів полягає в тому, що в організмі тварин вони живляться або кров'ю, соками, тканинними елементами, або мономерами харчових субстратів хімуса. Інокуляторна дія паразитів базується на тому, що личинки багатьох гельмінтів, комах та ін. в період міграції є переносниками в органи і тканини господаря багатьох мікроорганізмів різних видів. Багато комах ряду Двокрилі при

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

кровососанні інокулюють в тканини здорових тварин збудників сибірської виразки, бруцельозу та інші інфекційні захворювання.

Спільні риси паразитизм має з хижацтвом, у двох міжвидових взаємодіях присутній анатагоністичний характер та харчування одного організму за рахунок іншого. Але між ними є і суттєва різниця. При хижацькому способі взаємодії споживач їжі більший за харчовий об'єкт, а при паразитичному – менший за хазяїна.

Таким чином, екологічна оцінка, аут- та синекоекологічних досліджень динаміки чисельності та формування популяцій ектопаразитів є актуальними напрямками еко та біобезпеки [32; 33]. Пошук альтернативних екобезпечних засобів контролю проти поширення та зниження чисельності популяцій ектопаразитів птиці та уникнення резистентних властивостей до препаратів у членистоногих є перспективним та актуальним напрямом сучасної екологічної науки.

### **Література до розділу 7:**

1. Єрохіна О.М. Паразитологія та інвазійні хвороби сільськогосподарських тварин: навчальний посібник. Київ, 2014. 431 с.
2. Sparagano O, George D.R, Harrington D.W., Giangaspero A. Significance and control of the poultry red mite, *Dermanyssus gallinae*. *AnnuRevEntomol*. 2014. Vol. 59. P. 447 – 466. DOI: 10.1146/annurev-ento-011613-162101.
3. Жигалюк С.В., Сачук Р.Н., Лисица А.В., Жигалюк М.В. Можливості використання інсектоакарицидів для санації тваринницьких приміщень у присутності поголів'я. *Ветеринарна біотехнологія*. 2016. № 28. С.68 – 78.
4. Windhorst H.W. The European egg industry in transition. *International Egg Commission Special Economic Report*. 2015.
5. Makert G.R., Vorbruggen S., Krautwald-Junghanns M.E., Voss M., Sohn K., Buschmann T., Ubert S. A method to identify protein antigens of *Dermanyssus gallinae* for the protection of birds from poultry mites. *Parasitol. Res*. 2016. Vol. 115 (7). P. 2705 – 2713.

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

6. Salifou S., Offoumon O.T., Gouissi F.M., Pangui L.J. Endogenous recipes for controlling arthropod ectoparasites of domestic poultry. *Rev Bras Parasitol Vet.* 2013. Vol. 22 (1). P. 119 – 23.
7. Gunnarsson E. Poultry red mites in Swedish laying hen flocks – occurrence and efficacy to a selection of acaricides. *Department of Animal Nutrition and Management.* Uppsala. 2017. 52 p.
8. Cencek T. Prevalence of *Dermanyssus gallinae* in poultry farms in Silesia Region in Poland. *Bull. Vet. Inst. Pulawy.* 2003. Vol. 47. P. 465 – 469
9. George D.R., Finn R.D., Graham K.M., Mul F.M., Mauer V., Moro V., Sparagano O. Should the poultry red mite *Dermanyssus gallinae* be of wider concern for veterinary and medical science. *Parasites & Vectors.* 2015. Vol. 8. P. 1 – 10.
10. Van Emous R.A., Niekerk T. Fiks-Van, Mul M.F., €11 million damage for the sector: enquiry into the cost of mites to the poultry industry. *De Pluim veehouderij Journal.* 2006. Vol. 35. P. 63–70
11. Машкей А.М., Сумакова Н.В., Сіренко О.С., Пазуцян Т.С. Поширення ектопаразитарних захворювань сільськогосподарської та свійської птиці в лісостеповій зоні України та АР Крим. *Ветеринарна медицина.* 2014. Вип. 99. С. 144 – 147.  
URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vetmed\\_2014\\_99\\_45](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vetmed_2014_99_45)
12. Хижня Л.Ю. Поширення малофагозів курей у господарствах Полтавської області. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2013. №2. С. 173 – 174.
13. Фотіна Т.І., Нагорна Л.В. Особливості корекції популяції червоного кліща в умовах птахогосподарств України. *Ефективне птахівництво.* 2013. № 11. С. 36–39.
14. Moro C.V., Thioulouse J., Chauve C., Zenner L. Diversity, Geographic Distribution, and Habitat-Specific Variations of Microbiota in Natural Populations of the Chicken Mite, *Dermanyssus gallinae*. *Journal of Medical Entomology.* 2011. Vol. No.48 (4). P. 788–796.
15. Fiddes M.D., Le Gresley S., Parsons D.G., Epe C., Coles G.C., Stafford K.A. Prevalence of the poultry red mite (*Dermanyssus gallinae*) in England. *Vet Rec.* 2005. Vol. 157. P. 233–235.

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

16. Nordenfors H., Höglund J., Tauson R., Chirico J. Effect of permethrin impregnated plastic strips on *Dermanyssus gallinae* in loose housing systems for laying hens. *Vet Parasitol.* 2000. Vol. 102. P. 121–31.
17. Beugnet F., Chauve C., Gauthey M., Beert L. Resistance of the red poultry mite to pyrethroids in France. *Vet Rec.* 1997. Vol. 140. P. 9.
18. Marangi M., Cafiero M.A., Capelli G., Camarda A., Sparagano O.A., Giangaspero A. Evaluation of the poultry red mite, *Dermanyssus gallinae* (Acari: Dermanyssidae) susceptibility to some acaricides in field populations from Italy. *Experimental Applied Acarology.* 2009. Vol. 48. P. 11–18.
19. Toomey N. *Gamasoidosis* (fowl mite dermatitis) (*Dermanyssus gallinae*). *The Urologic and cutaneous review.* 1921. Vol. 24. P. 705–710.
20. Gavrilovic P., Kecman V., Jovanovic M. Diagnosis of skin lesions caused by *Dermanyssus gallinae* in five patients. *International Journal of Dermatology.* 2015. Vol. 54. P. 207–210.
21. Cafiero M.A., Galante D., Camarda A., Giangaspero A., Sparagano O. Why dermanyssosis should be listed as an occupational hazard. *Occup Environ Med.* 2011. Vol. 68. P. 628 – 638.
22. George D.R., Finn R.D., Graham K.M., Mul F.M., Mauer V., Moro V., Sparagano O. Should the poultry red mite *Dermanyssus gallinae* be of wider concern for veterinary and medical science. *Parasites & Vectors.* 2015. Vol. 8. P. 178 – 188.
23. Roy L., Chauve C.M., Buronfosse T. Contrasted ecological repartition of the northern fowl mite *Ornithonyssus sylviarum* (Mesostigmata: Macronyssidae) and the chicken red mite *Dermanyssus gallinae* (Mesostigmata: Dermanyssidae). *Acarologia.* 2010. Vol. 50 (2). P. 207– 219.
24. Lundh J., Wiktelius D., Chirico J. Azadirachtin impregnated traps for the control of *Dermanyssus gallinae*. *Vet Parasitol.* 2005. Vol. 130 P. 337 – 342.
25. Maurer V., Perler E., Heckendorn F. In vitro efficacies of oils, silicas and plant preparations against the poultry red mite *Dermanyssus gallinae*. *Exp. Appl. Acarol.* 2009. Vol. 48. P. 31 – 41.
26. Kim S.I., Na Y.E., Yi J.H., Kim B.S., Ahn Y.J. Contact and fumigant toxicity of oriental medicinal plant extracts against

## РОЗДІЛ 7. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКТОПАРАЗИТОЦЕНОЗІВ СУЧАСНОГО ІНТЕНСИВНОГО ПТАХІВНИЦТВА

---

*Dermanyssus gallinae* (Acari: *Dermanyssidae*). *Veterinary Parasitology*. 2007. Vol. 145. P. 377–382.

27. Raal A., Orav A., Arak E. Composition of the essential oil of *Salvia officinalis* L. from various European countries. *Nat. Prod. Res.* 2007. Vol. 21. P. 406 – 411.

28. George D.R., Sparagano O., Port G., Okello E., Shiel R.S., Guy J.H. Toxicity of plant acal oils to different life stages of the poultry red mite, *Dermanyssus gallinae*, and non-target invertebrates. *Med. Vet. Entomol.* 2010. Vol. 24. P. 9–15.

29. Тертична О.В., Сваливчук Л.І. Ecological features of the components of the artificial system «poultry – arthropoda – surroundings». *Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 3 – 5 липня, 2019 р.)*. К., 2018. С.31-33.

30. Свалявчук Л.І., Тертична О.В. Перспективи екологічних досліджень *Dermanyssus gallinae* (De Geer, 1778) у птахівництві. *Агроекологічний журнал*. 2016. № 3. С. 142 – 147.

31. Тертична О.В., Свалявчук Л.І. Екологічні особливості формування популяцій ектопаразитів птиці за бройлерного виробництва. *Екологічні науки*. 2019. № 3. С. 71-76.

32. Stevens J.R., Wallman J.F., Otranto D., Wall R., Pape T., The evolution of myiasis in man and animals in the Old and New Worlds. *Trends Parasitol.* 2006. Vol. 22. P. 181–188.

33. Waage J.K., The evolution of insect/vertebrate associations. *Biol. J. Linn. Soc.* 1979. Vol. 12. P. 187–224

---

## РОЗДІЛ 8.

### АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

*Гуменюк І.І.*

**Ключові слова:** біобезпека, біозахист, біологічний ризик, біологічний метод, Картахенський протокол, Конвенція про біологічне різноманіття, ГМО

За сучасного економічного, технологічного та наукового розвитку, всеохоплюючої глобалізації посилились екологічні виклики, пов'язані зі значною кількістю безпекових загроз різної природи, зокрема біологічних. У зв'язку з цим актуальність ефективної системи біологічної безпеки і біологічного захисту є надзвичайно високою для світу та України в цілому.

Нині в Україні у зв'язку зі збройною агресією РФ існує тенденція до посилення негативного впливу біологічних чинників на населення та навколишнє природне середовище, можливість виникнення загроз біологічного походження, пов'язаних із розвитком сучасних біотехнологій та появою синтетичної біології, проявами біотероризму, відсутністю чітко визначеної процедури провадження результатів генної інженерії. Якісна відмінність біологічного виду забруднення від інших полягає у здатності його компонентів до розмноження, адаптації та передачі спадкової інформації в навколишньому середовищі, що надає цьому впливу таких рис як мобільність і агресивність та робить його особливо небезпечним.

Біобезпека та біозахист набувають все більшого значення в різних біологічних галузях, особливо у зв'язку зі стрімким розвитком біотехнологічної науки. Тому використовують широкий спектр визначень поняття біобезпеки та біозахисту, залежно від сфери, в якій вони застосовуються. Однак, як правило, біобезпека належить до процедур, заходів і дій, прийнятих для запобігання, обмеження та уникнення потенційних ненавмисних біонебезпек, які загрожують людині або навколишньому природному середовищу.

Питання біобезпеки пов'язані з багатьма галузями та сферами життя людини. В агровиробництві біологічну небезпеку визначають інвазивні види, ГМО-організми та наслідки від них, біологічні агенти – патогени для рослин, тварин і людини. Ці небезпеки можуть бути природним або навмисним

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

внесенням шкідливих організмів, які можуть завдати значної економічної шкоди фермерам, сільськогосподарській промисловості, суспільству та міжнародній торгівлі.

Питання біобезпеки стосуються процедур, політики і принципів, які необхідно прийняти для захисту навколишнього природного середовища і населення. Це стосується принципів стримування, стратегій і практик, які застосовують для запобігання впливу патогенів і токсинів. Його основна мета – тримати під контролем шкідливі біологічні агенти, токсини, хімічні речовини та радіацію.

З появою генної інженерії заходи біобезпеки набули особливого значення для забезпечення громадської та екологічної безпеки. Ґрунтується на впровадженні конкретних практик і процедур, навчання та обладнання для забезпечення безпеки, відповідних програм з охорони праці та інфраструктури охорони здоров'я, які дозволяють країні безпечно та ефективно працювати з потенційно інфекційними мікроорганізмами та іншими біологічними небезпеками. Численні компоненти біобезпеки застосовуються для захисту тих, хто працює з біологічними матеріалами, від шкоди, а також для запобігання впливу потенційно інфекційних і шкідливих біологічних агентів на населення, навколишнє середовище та дику природу.

Системи біобезпеки впроваджуються в багатьох лабораторних умовах, включаючи академічні та навчальні лабораторії, біологічні дослідницькі та виробничі лабораторії, екологічні дослідницькі та аналітичні лабораторії, а також клінічні та діагностичні лабораторії для людей та ветеринарії.

Біобезпека спрямована на усунення або, принаймні, значне зниження ризику біологічного забруднення. Для усунення всіх таких потенційних ризиків сфера біобезпеки охоплює три основні концепції. Перша – це концепція біологічної небезпеки. Це передбачає контроль потенційного ризику, пов'язаного з впливом біологічних агентів, що спричиняють захворювання. Друге – це біозахист. Це стосується заходів, які вживаються для запобігання потенційному поширенню інфекційних захворювань. І останнє поняття – це захист, який стосується заходів, що вживаються для зменшення ризику неправильного використання, міжнародного розповсюдження, втрати або крадіжки небезпечних патогенів або токсинів.



## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

Необхідним є інформування людей щодо правил, норм та органів моніторингу. Дослідники повинні бути першими, хто матиме повне уявлення про проблеми та заходи біобезпеки, щоб вона була забезпечена на базовому рівні.

Зростаючий інтерес, викликаний нещодавніми біотехнологічними розробками зі створення та вивільнення генетично модифікованих організмів (ГМО), зокрема, сільськогосподарських культур. Цей розвиток призвів до зростання попиту на інформацію про різні аспекти цих біотехнологічних продуктів, особливо про безпеку вивільнення ГМО в навколишнє середовище та про ризики, пов'язані з їх використанням в якості продуктів харчування або кормів. Як наслідок, за останнє десятиліття було створено низку веб-сайтів, що надають інформацію з цього питання. Однак, існують різні типи інформації, пов'язані із проблемами використання ГМО, такі як науково-технічна інформація, екологічні, медичні та соціально-економічні наслідки, регуляторні та законодавчі питання, польові випробування та комерційний випуск, оцінка ризиків, моніторинг, простежуваність та маркування. З іншого боку, є також кілька категорій професійних і непрофесійних осіб, зацікавлених в отриманні інформації про біотехнологію та біобезпеку ГМО, включаючи науковців, урядовців і політиків, фермерів, споживачів та екологів. Ситуація ще більше ускладнюється, якщо взяти до уваги інші параметри, такі як якість, наявність та доступність інформації. Зокрема, важливою проблемою є перевірка інформації, що міститься в базах даних, яка впливає на надійність і вплив отриманих даних, а отже, і на корисність самої бази даних. Крім того, відмінності між джерелами, що надають інформацію пов'язаними з дослідженнями, розробкою, застосуванням і комерціалізацією біотехнологічних продуктів, і тими, що спеціально спрямовані на надання інформації з питань що стосуються безпеки біотехнологічних продуктів, зокрема ГМО, слід підкреслити відмінності між джерелами, що надають інформацію з питань безпеки біотехнологічних продуктів.

Біобезпека може бути описана як зусилля, спрямовані на зменшення або усунення потенційних ризиків, пов'язаних з біотехнологією та її продуктами [1]. Генетично модифіковані (ГМ) харчові культури були введені в комерційний обіг ще в 1994 р. ДНК генно-інженерних культур модифікується за до-

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

помогою технології рекомбінантної ДНК. У більшості випадків метою генетичної модифікації є надання рослині нових ознак, які в природі не зустрічаються у даного виду. Такі сорти перевершують свої природні аналоги. На відміну від них, традиційні сорти, виведені шляхом штучної селекції, випадкового мутагенезу або внаслідок внутрішньовидової чи міжвидової (рідше міжродової) гібридизації, призводять до перенесення низки нехарактерних генів з того самого чи спорідненого виду. Згідно з поточними статистичними даними, населення світу зростає і до 2050 року сягне близько 9,5 млрд [2]. Крім того, через скорочення площ орних земель та зміну клімату фермери зіткнулися із труднощами при вирощуванні та виробництві основних сільськогосподарських культур. У таких складних умовах ГМ-культури, стійкі до кліматичних змін, є можливим рішенням для забезпечення продовольчої безпеки, а також для покращення економічного стану фермерів. Крім того, ГМ-культури також відновлюють алельну різноманітність, втрачену під час одомашнення культур, і зменшують використання хімічних засобів захисту рослин [3]. Наразі генно-інженерні або трансгенні рослини вирощують на понад 191,7 млн га у світі в 27 країнах, тоді як у 1996 р. ці показники становили лише 1,7 млн га площі землі під трансгенними культурами. В Україні досі немає жодної офіційно зареєстрованої генетично модифікованої рослини, тобто жодного сорту до Державного реєстру ГМО поки не включено.

У Законі України «Про основні засади державної екологічної політики України на період до 2023 року стосовно біологічної безпеки та біологічного захисту зазначається що, «Пріоритетами державної політики у сфері біологічної безпеки та біологічного захисту є здійснення системних заходів зі створення та ефективного функціонування національної системи біологічної безпеки та біологічного захисту, протидії проявам біотероризму, захисту населення від безконтрольного та протиправного поширення генетично модифікованих організмів, збереження безпечного природного середовища, створення системи раннього виявлення та швидкого реагування на поширення збудників особливо небезпечних та таких, що мають міжнародне значення, а також покращення матеріально-технічного стану лабораторій, установ та закладів, які здійснюють діагностику інфекційних хвороб в об'єктах середовища

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

життєдіяльності людини, задіяні в системі індикації біологічних патогенних агентів, визначають кількісний та якісний вміст генетично модифікованих організмів у продукції рослинного і тваринного походження, лабораторій, що працюють із збудниками особливо небезпечних інфекційних хвороб, визначенням їх впливу на навколишнє природне середовище, зокрема біологічного різноманіття, з урахуванням ризиків для здоров'я людини; створення оперативного реагування на прояви біотероризму» [4]. Питання принципів біологічної безпеки та біологічного захисту як засади фундаментальної основи державної системи протидії біологічним загрозам національній безпеці України на сьогодні досліджено недостатньо.

Про біобезпеку та біозахист наукова спільнота активно почала говорити як про систему протидії загрозам біологічного характеру людині та навколишньому природному середовищі наприкінці ХХ ст. у зв'язку із розвитком генної інженерії та інших наук дотичних із нею.

Поява продуктів, створених завдяки генетичній інженерії, на світовому ринку та виникнення певної загрози неконтрольованого вивільнення у навколишнє середовище генетично модифікованих організмів (ГМО) вимагало від науковців формування сучасних принципів безпечності функціонування еколого-біологічної сфери.

Динамічне зростання населення на Землі у другій половині ХХ ст. означало зростання антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище, що потребувало бережливого та раціонального використання природних біоресурсів. Всесвітня хартія природи, схвалена на 37 сесії Генеральної Асамблеї ООН визначила загальні принципи поведінки держав, в тому числі України відносно навколишнього середовища. Таким чином, було визначено пріоритетні напрямки екологічної діяльності відносно біобезпеки навколишнього природного середовища.

Розвиток сектора безпеки і оборони як основного інструменту реалізації державної політики у сферах національної безпеки і оборони [5]. Створення вітчизняної системи із біобезпеки та біозахисту у рамках національної безпеки України відповідно до реалізації: Стратегії національної безпеки України «Безпека людини- безпека країни», затвердженої Указом Президента України від 14 вересня 2020 р. №239/2020; рішення

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

Ради національної безпеки і оборони України від 27 лютого 2009 р. «Про біологічну безпеку України»; розпорядження Кабінету Міністрів України від 27 листопада 2019 р. №1416-р «Про схвалення Стратегії забезпечення біологічної безпеки та біологічного захисту за принципом «єдине здоров'я» на період до 2025 р. та затвердження плану заходів щодо її реалізації [6].

Окрім підвищення продуктивності, стійкості та прибутковості, інтерес до біозахисту зростає, оскільки національні системи регулювання та експортної сертифікації системи регулювання та експортної сертифікації стикаються з проблемами, пов'язаними зі значним збільшенням обсягів продовольчої та сільськогосподарської продукції, що є предметом міжнародної торгівлі, розширенням асортименту імпортованої продукції та зростаючою кількістю країн, з яких цей імпорт походить. Зростання подорожей також створює більше шляхів для поширення шкідників, хвороб та інших небезпек, які поширюються швидше і на більші відстані, ніж будь-коли раніше. Необхідно покращити координацію між національними органами, відповідальними за дотримання санітарних, фітосанітарних і зоосанітарних заходів для кращого захисту життя і здоров'я людей, тварин і рослин без створення непотрібних технічних бар'єрів у торгівлі.

Зростаючий інтерес до даної теми є результатом великих міжнародних подій, таких як глобалізація світової економіки, швидке збільшення обсягів комунікацій, транспорту та торгівлі, технічний прогрес і зростання обізнаності про проблеми, з якими стикаються біологічне різноманіття та навколишнє природне середовище [7].

За 20 років, що минули з початку «зеленої революції», виробництво продуктів харчування в Світі збільшилося вдвічі. Приріст хімічних добрив і пестицидів, відповідно, у 7 та 375 разів. Крім того, розширена доступність необмежених і чутливих до хімічних речовин різновидів (таких як вміст нітратів, фоксілатів, аміаків, хлоридів і важких металів) у структурі ґрунтів призвела до збільшення надмірних сільськогосподарських витрат, спричинених забрудненням навколишнього природного середовища [7].

Тому головне завдання полягає в тому, щоб прогодувати зростаюче населення (тобто продовольча безпека), потім розумно використовувати природні ресурси, підтримувати соціа-

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

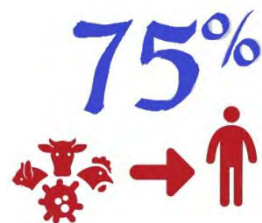
льно-економічну рівновагу (з точки зору ринку, засобів до існування і врожайності) і включити традиційне розуміння і ресурсів та не нашкодити.

Біобезпека створена попередження, зменшення та елімінації впливу небезпечних біологічних чинників (агентів) на людей, тварин, рослин та на навколишнє середовище, тоді як біозахист – заходи, спрямовані на попередження втрати, викрадання або використання з небезпечною метою (біотероризм) мікроорганізмів, біологічних матеріалів (біоагентів) або інформації [9, 10].

Інфекції до найбільш небезпечної групи біологічних ризиків. Відомо про існування понад 2 млрд випадків зараження різними інфекціями щороку, внаслідок яких помирає до 17 млн людей. Сьогодні епідемії безконтрольно поширюються унаслідок зміни умов життя (урбанізація, погіршення соціально-екологічних умов, новітні технології, зростання інтенсифікація міграційних процесів, міжнародного туризму та торгівлі, мікробні адаптації та мутації, руйнування та порушення природних екологічних систем та ін.).

У цьому аспекті найбільшу біологічну загрозу становлять:

– подолання мікроорганізмами міжвидових бар'єрів (антропозоозни, інфекції віддалених біологічних видів);



нових інфекційних захворювань людини (в тому числі лихоманку Ебола, ВІА та грип) мають тваринне походження



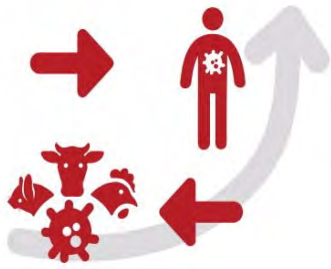
потенційних агентів біотерористичного використання є зоонозними патогенами

– інфекції, «що повертаються»;  
– інфекції, що можуть бути керовані завдяки вакцинації;  
– інфекції, що виникають на нових територіях;  
– нові інфекції, що їх спричиняють раніше невідомі патогени, які несподівано з'явилися у популяції людини або швидко розширюють свою присутність у популяції;

– зростання епідеміологічного значення умовно-патогенних мікроорганізмів і підвищення частоти захворюваності на опортуністичні інфекції

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

- поширення госпітальних інфекцій [11].



З'являється все більше доказів того, що інфекційні захворювання також поширюються від людей до тварин (зворотний зооноз).

- генетичні конструкції (вірусні вектори, двоспіральні РНК, онкогени, гени, що кодують білки-токсини) [11].

Біокатастрофи часто виконують роль факторів поширення інфекцій. Багато з соціальних потрясінь у минулому стали результатом поширення інфекцій унаслідок біокатастроф, що виникли природним шляхом.

У сучасному світі біокатастрофи також трапляються:

- аварії на небезпечних біологічних об'єктах (біологічні заводи, військові науково-дослідні інститути);
- екологічно небезпечна техногенна діяльність (ґрунтові роботи, видобуток корисних копалин, дослідження пов'язані з вилученням із надр Землі давніх бактерій та інших організмів);
- неконтрольована техногенна діяльність;
- відбір антибіотикостійких патогенних штамів мікроорганізмів;
- природні катастрофи (землетруси, селі, повені, цунамі, що можуть призвести до спалахів інфекційних захворювань).

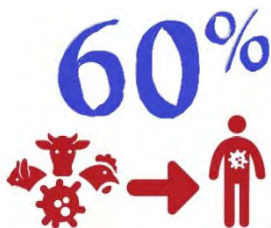
У лабораторіях де проводять дослідження біологічного матеріалу існують ризики потенційної біологічної небезпеки. Найвищий рівень біологічних ризиків існує при роботі з патогенними мікроорганізмами. Роботи з виділення генетичного матеріалу та його використання, також пов'язані з високим ризиком біологічної небезпеки. Небезпеку становить виділення патогенного агента у повітря, зараження персоналу чи навколишнього середовища. Крім того біологічний матеріал, який знаходиться у лабораторіях, є потенційним джерелом біологічної зброї, а біологічні та медичні установи можуть бути використані для нелегальної розробки і виготовлення біологічної зброї.

Біологічна зброя належить до зброї масового ураження, дія якої полягає у використанні хвороботворних властивостей мікроорганізмів (бактерій, вірусів, грибів) та їх токсинів. Застосовують біологічну зброю у вигляді сумішей біологічного агента і спеціальних препаратів, що забезпечують сприятливі умови для патогена в процесі застосування.

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

Біологічний тероризм – один із різновидів тероризму, що передбачає використання бактерій, вірусів, інших біологічних об'єктів, або токсинів у природній чи модифікованій людиною формі з метою зараження людей і поширення масової паніки.

На додаток до загроз, пов'язаних із природними спалахами захворювань, існує реальний ризик того, що хвороба може бути занесена до сприйнятливої популяції людей або тварин після навмисного або випадкового вивільнення інфекційного агента або токсину. Ці «неприродні» біологічні загрози несуть особливі ризики, оскільки патогени можуть бути сконструйовані або випущені таким чином, щоб зробити їх більш шкідливими. Хоча ймовірність навмисного або випадкового вивільнення може бути відносно низькою, вплив може бути катастрофічним як на національному, так і на глобальному рівні. Патогени тварин можуть бути використані як біологічна зброя, в біозлочинах або в біотероризмі оскільки вони мають великий вплив, є дешевими, їх легко придбати і поширювати, і вони можуть легко провезти через прикордонний контроль непоміченими. Біотехнологічна революція означає, що можливості для конструювання патогенів тварин постійно зростають (і стають все більш доступними), в той час як витрати на це зменшуються. Більшість патогенів, які використовувалися для розробки біологічної зброї, були патогенами тварин; всі вони є хворобами, офіційно внесеними до списку Всесвітньої організації охорони здоров'я тварин (World Organisation for Animal Health (OIE) [12].



існуючих інфекційних захворювань людини є зоонозними.

Сьогодні у світі активно проводяться дослідження і ведуться розробки у сфері нанотехнології. Не зважаючи на те, що використання нанотехнологій, безперечно, є одним з найперспективніших напрямів науки і техніки, важливим є потенційна небезпека використання наноматеріалів і нанотехнологій, а також розробка критеріїв їх безпеки для здоров'я людини. Безпека наночастинок – одна з основних проблем у нанотехнології. Досі недостатньо даних щодо потенційних ризиків, пов'язаних з розвитком наномедицини і нанотехнологій для

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

людського здоров'я та довкілля. Наноматеріали, використання яких набуває все більшої популярності в електроніці, косметології, хімічній промисловості та інших галузях, можуть потенційно викликати біонебезпечні ефекти [12].

Відомим є те, що генетична інженерія сільськогосподарських рослин розвивається переважно в руслі класичної селекції. Основні зусилля вчених зосереджені на захисті рослин від несприятливих (біотичних та абіотичних) факторів, покращенні якості та зменшенні втрат при зберіганні продукції рослинництва. Зокрема, це підвищення стійкості проти хвороб, шкідників, заморозків, солонцюватості ґрунту тощо, видалення небажаних компонентів із рослинних олій, зміна властивостей білка, смакових якостей овочів та ін. Порівняно з традиційною селекцією, основними інструментами якої є схрещування і відбір, генна інженерія дає можливість використання принципово нових генів, які визначають агрономічно важливі ознаки, і нових молекулярно-генетичних методів моніторингу трансгенів, що в багато разів прискорюють процес створення трансгенних рослин. Селекціонерів приваблює можливість цілеспрямованого генетичного програмування рослин. Важливим направленням є створення генетично модифікованих рослин. Крім того, завдяки генетичній модифікації рослини можуть виконувати не властиву їм раніше функцію. Вирощування таких рослин, стійких до широкого спектру хвороб та комах-шкідників, може суттєво знизити, а в подальшому звести до мінімуму пестицидне навантаження на оточуюче середовище [14].

Біобезпека в сільському господарстві, хімії, медицині, екобіології й інших галузях, ймовірно, вимагатиме застосування принципу обережності та нового визначення, орієнтованого на біологічну природу загрозливого організму, а не на природу загрози. Коли розглядаються біологічна війна або нові, в даний час гіпотетичні, загрози (створені нові штучні бактерії), запобіжні заходи біобезпеки, як правило, є недостатніми. Нова галузь біобезпеки розглядає ці комплексні загрози. Рівень біобезпеки відноситься до суворості заходів біозахисту, які Центри з контролю і профілактики захворювань (CDC) вважають необхідними для лабораторних робіт з інфекційними матеріалами [15].

Біологічна безпека пов'язана з наступними сферами:

➤ Екологія (що стосується імпортованих форм життя з-за кордонів екорегіону);



## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

- Сільське господарство (зменшення ризику чужорідних вірусних або трансгенних генів, генної інженерії або пріонів, таких як BSE/MadCow), зменшення ризику харчового бактеріального зараження);
- Медицина (що стосується органів або тканин біологічного походження, або продуктів генної терапії, вірусів);
- Хімія (тобто, нітрати у воді, рівні ПХБ (поліхлоровані біфеніли), що впливають на фертильність);
- Екзобіологія (тобто політика NASA щодо утримання чужорідних мікробів, які можуть існувати в космічних зразках);
- Синтетична біологія (посилання на ризики, пов'язані з цим типом лабораторної практики).

Це міждисциплінарна сфера досліджень, яка спрямована на створення нових біологічних частин, пристроїв і систем або на переробку систем, які вже існують у природі.

Це галузь науки, яка охоплює широкий спектр методологій з різних дисциплін, таких як біотехнологія, біоматеріали, матеріалознавство/інженерія, генна інженерія, молекулярна біологія, молекулярна інженерія, системна біологія, мембранологія, біофізика, хімічна та біологічна інженерія, електрична та комп'ютерна інженерія, інженерія управління та еволюційна біологія.

Суттєвих результатів у цій сфері досягла команда вчених на чолі з Нобелівським лауреатом Гемілтоном Смітом, якими була створена штучна бактерія Сінтія, або *Mycoplasma laboratorium*. Цей замисел відомий як проєкт мінімального геному. Стверджують, що синтетичні бактерії – це крок до створення організмів для виробництва водню та біопалива, а також для поглинання вуглекислого газу та інших парникових газів [16].

Повне розуміння експериментальних ризиків, пов'язаних із синтетичною біологією, допомагає посилити знання та ефективність біобезпеки. З потенційним майбутнім створенням штучних одноклітинних організмів деякі починають розглядати вплив, який ці організми матимуть на вже наявну біомасу. За оцінками вчених, протягом наступних кількох десятиліть конструкція організмів стане достатньо складною, щоб виконувати такі завдання, як створення біопалива та зниження рівня шкідливих речовин в атмосфері. Вчені, які виступають за

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

розвиток синтетичної біології, стверджують, що використання механізмів біобезпеки, таких як гени самогубства та залежність від поживних речовин, гарантує, що організми не зможуть вижити за межами лабораторії, в якій вони були спочатку створені. Ці організми можуть завдати шкоди існуючому життю, впливаючи на харчовий ланцюг жертви/хижака, розмноження між видами, а також конкуренцію з іншими видами (види, що знаходяться під загрозою, або діють як інвазивні види). Зараз в лабораторії виготовляють синтетичні вакцини. Вони викликали велике хвилювання у фармацевтичній промисловості, оскільки вони будуть дешевшими у виробництві, дозволять пришвидшити виробництво, а також розширять знання з вірусології та імунології, але чи не будуть вони безпечними.

У 1994 р., в США з'явилися помідори сорту Flavor Savr (flavor saver – зберігач смаку), генетично модифікований томат став першою сільськогосподарською ГМ-культурою, схваленою для продажу в США, і яка продавалася з 1994 по 1997 роки. Розробила фірма Calgene. Томати не псувалися під час перевезення та були з тривалим строком дозрівання. Вони мали здатність зберігатися до півроку при температурі 14-16°C. У сорті Flavor Savr методом генної інженерії було заблоковано ген «pg», що пригнічує синтез ферменту полігалактуронази, відповідального за розпад пектину в клітині та розм'якшення плодів, внаслідок чого вони довго залишалися міцними, свіжими та смачними. Вони були стійкими до гниття та розвитку грибкових інфекцій. Ген PG позитивно вплинув на термін зберігання, але не на твердість фруктів, тому їх так само доводилось збирати нестиглими [17].

На відміну від цього сорту, всі інші помідори, що є в супермаркетах, збирають зеленими і дозрівають на місці продажу за допомогою газу. Так забезпечується збереження плодів під час транспортування, але вони залишаються несмачними.

Паралельно у 1995 році американська компанія-гігант Monsanto запустила на ринок ГМ-сою RoundupReady. У ДНК рослини був внесений чужорідний ген для підвищення здатності культури протистояти бур'янам.

Монсанто придбали цю компанію в 1997 році через її високі витрати на дослідження і виробництво та низькі прибутки. Все це списують на недосвідченість компанії. Але нещода-

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

вно у 2018 р. Bayer придбали Монсанто (впродовж двох років тривав цей процес).

Трансгенні рослини стійкі до гербіцидів, шкідників, вірусів, посухи. Це дає можливість певній рослині бути невразливою до хімікатів, які є смертельно небезпечними для інших. Внаслідок цього поле звільняється від усіх бур'янів, а культури, стійкі до гербіциду, виживають.

Мета отримання генетично змінених організмів – поліпшення корисних характеристик вихідного організму донора і зниження собівартості продуктів. Трансгенні рослини дають більш високу врожайність, можуть мати нові властивості, підвищену декоративну і харчову цінність. ГМ сорти стійкі до гербіцидів, несприятливих кліматичних умов, псування при зберіганні, стресів, хвороб і шкідників. Водночас звичайні продукти можна наділити якимись новими властивостями. Наприклад, кава без кофеїну, полуниця з меншим вмістом цукру, рис з підвищеним вмістом заліза.

### Культури, ГМ лінії яких дозволені до вирощування

Люцерна посівна ( <i>Medicago sativa</i> )	Ріпак ( <i>Brassica napus</i> )
Квасоля ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	Кукурудза ( <i>Zea mays</i> L.)
Картопля ( <i>Solanum tuberosum</i> L.)	Рис ( <i>Oryza sativa</i> L.)
Цукровий буряк ( <i>Beta vulgaris</i> )	Томат ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )
Пшениця ( <i>Triticum aestivum</i> )	Польовиця ( <i>Agrostis stolonifera</i> )
Бавовник ( <i>Gossypium hirsutum</i> L.)	Льон ( <i>Linum usitatissimum</i> L.)
Диня ( <i>Cucumis melo</i> )	Папая ( <i>Carica papaya</i> )
Баклажан ( <i>Solanum melongena</i> )	Ріпа ( <i>Brassica rapa</i> )
Гвоздика ( <i>Dianthus caryophyllus</i> )	Цикорій ( <i>Cichorium intybus</i> )
Слива ( <i>Prunus domestica</i> )	Цукрова пальма ( <i>Saccharum</i> sp.)
Перець овочевий ( <i>Capsicum annuum</i> )	Гарбуз звичайний ( <i>Cucurbita pepo</i> )
Петунія ( <i>Petunia hybrida</i> )	Троянда ( <i>Rosa hybrida</i> )
Тополя ( <i>Populus</i> sp.)	Тютюн ( <i>Nicotiana tabacum</i> )

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

Розробка ГМ-культури починається з виявлення генів і перевірки функції цих генів, які загалом можна класифікувати як функціональну генетику. Незважаючи на те, що на сьогоднішній день відкрито багато генів та їх функції, лише кілька були включені в комерційні ГМ-культури, які зараз є на ринку. У цьому значна важкість через невідповідність між відкриттям генів і розробкою комерційно й економічно життєздатного продукту [18].

Існує три покоління генетично модифікованих рослин:

- Перше покоління. Найбільш поширеними генетично модифікованими організмами є сільськогосподарські культури із стійкістю до гербіцидів (наприклад, до раундапу (Roundup)), комах і вірусів. Вони належать до першого покоління генетично модифікованих культур і вирощуються на комерційній основі з 1996 року. Перше покоління ГМ рослин було створене для того, щоб підвищити якість та ефективність сільськогосподарського виробництва [20].

- Друге покоління. Сьогодні у біотехнологічних лабораторіях ведуться активні роботи щодо розвитку другого покоління ГМ рослин, які безпосередньо споживаються людьми у вигляді продуктів харчування. До другого покоління ГМ рослин належать рослини із вбудованими вакцинами і вітамінами, які повинні, насамперед, сприяти покращенню здоров'я людини. До рослин такого типу відносять як фрукти та овочі, так і зернові, які виробляють більше мінералів і вітамінів або наділені певними антиалергенними властивостями [21].

- Третє покоління. Також сьогодні дуже активно досліджується. Воно охоплює генетично модифіковані рослини, які можуть виробляти цінні фармацевтичні матеріали, зокрема: вакцини, гормони росту, чинники згортання крові, індустриальні ензими, людські антитіла, контрацептивні білки, цитокіни і таке інше. Ця технологія вирощування лікарських препаратів у організмі рослин називається біофармінгом. Вона дозволяє отримувати природні біорегулятори та біологічно активні речовини, рідкісні та дорогі, промислове виробництво яких для медичних цілей досить складне. Цей напрямок розвитку біотехнологій вважається дуже перспективним, оскільки є значний постійний попит, висока ємність ринку, які обумовлені нагальною необхідністю та зростаючим об'ємом споживання даної продукції [22].

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

У кінці ХХ століття вчені прийшли до розуміння того, що геноми живих організмів доволі не постійні, і процес обміну генетичною інформацією в еволюції – скоріше всього правило, аніж виключення. Прорив у генетичній інженерії рослин відбувся у 1997 році, коли було помічено, що ґрунтові бактерії роду *Agrobacterium* здатні переносити свою ДНК в геноми багатьох рослин. Бактерії пристосувались робити це для того, щоб перепрограмувати геном рослинних клітин на виробництво доступних тільки цим бактеріям поживних речовин. Вчені навчилися його модифікувати, так що замість «корисних бактеріям» генів вони стали переносити «корисні людям» гени, які стабільно успадковуються по законам класичної генетики. Цей метод отримав назву *агробактеріальної трансформації* і на сьогоднішній день є найбільш поширеним методом трансформації рослин [18].

У 1998 році було запропоновано інший метод, придатний для генетичної трансформації більшості організмів, включаючи рослини. Він побудований на механічному перенесенні ДНК, сорбованої на мікрочасточках твердої речовини (вперше золота, вольфрам), які розганяються до високих швидкостей за допомогою *генетичної гармати* і вистрілюються в тканини організму, що трансформується. Потрапляючи в клітини, чужорідна ДНК вбудовується в хромосоми випадковим чином і також успадковується за законами класичної генетики. Цим методом зручно трансформувати рослини, які погано піддаються агробактеріальній трансформації. Наприклад, RR-соя, що домінує сьогодні на ринку ГМ-рослин, була отримана цим методом у компанії Agracetus (The Agracetus Campus of Monsanto Company, яка була заснована у 1981 році під назвою Cetus Madison Corporation) в 1998 році, коли агробактеріальна трансформація цієї культури була ще погано налаштована [23].

Одним із напрямків розвитку генно-інженерних технологій у рослинництві є отримання культур, стійких до негативної дії шкідливих комах. На сьогодні така стійкість досягається єдиним способом – внесенням генів з іншої ґрунтової бактерії *Bacillus thuringiensis* (Bt). Такі рослини часто називають по першим літерам латинського алфавіту назви цієї бактерії (Bt-кукурудза, Bt-бавовна). Використані гени Bt кодують білки, які токсичні для комах-шкідників, але абсолютно нешкідливі для ссавців та людини. Бактеріальний Bt-токсин здавна викорис-

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

товувався у сільському господарстві як ефективний інсектицид [23]. В органічному землеробстві поширене використання бактеріальної суспензії *Bacillus thuringiensis* для боротьби з комахами. Перенесений в геном рослини бактеріальний ген *cry* Bt-токсину надає рослині стійкості проти ряду комах-шкідників. Найпоширеніші рослини, в які вбудовують ген Bt-токсину – кукурудза та бавовник. Була спроба перенести ген Bt-токсину в картоплю, що мала метою боротьбу з колорадським жуком, проте спосіб виявився неефективним, тому що трансгенна картопля виявилася вразливою до тлі *Aphidius nigripes*.

Рослини з геном Bt виробляють білок, який вбиває певних комах, тому вони не потребують використання хімічних спреїв від шкідників. Перевага трансгенних рослин у тому, що внесення генів інсектицидів безпосередньо в рослини не призводить до знищення корисних комах внаслідок обробки полів.

Недоліком є те, що інсектицид присутній в рослині перманентно, що робить неможливим його дозування. Крім того, в трансгенних сортах першого покоління ген експресується під конститутивним промотором, тому продукт його гену присутній у всіх частинах рослини, навіть тих, що не уражаються шкідниками. Існують певні ефекти нецілеспрямованої дії на комах, про що наголошується при критиці застосування таких трансгенних культур. З іншого боку, хімічні інсектициди також не є селективними і можуть знищувати організми нецілеспрямовано [25].

В останні роки генетично модифіковані (ГМ) рослини набули широкої популярності. Домінуючими трансгенними культурами є соя, рапс і кукурудза. Лідером вважається соя завдяки її функціональним властивостям, харчовій цінності й низькій собівартості за рахунок створення гербіцид-резистентних варіантів цієї культури. ГМ рослини створюють для того, щоб змінити їх агробіологічні показники, а саме: забезпечити стійкість до шкідників і хвороб, гербіцидів, засолення, дії екстремальних температур; стабілізувати якість кінцевої продукції; розв'язати проблему біопалива, вирішити питання очищення довкілля від пестицидів та важких металів. А головне – це дешевизна трансгенних продуктів харчування і вирішення такої глобальної проблеми людства, як голод. У виробництві сільгосппродукції залучена велика кількість людей: фермери, обслуговуючі компанії, перевізники й т.д. Збільшення обсягів výro-

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

бництва принесе користь кожному учаснику виробничого ланцюжка. У сільськогосподарському секторі будуть створені додаткові робочі місця.

ГМ-продукти стають набагато більш поширеними, тому що, по-перше, зараз існує технологія створення харчових культур, які потребують меншої кількості хімічних пестицидів для вирощування на великих площах; по-друге, вчені можуть модифікувати продукти харчування таким чином, щоб вони містили інші і, ймовірно, кращі пропорції різних поживних речовин. І, по-третє, гігантські сільськогосподарські підприємства конкурують за те, щоб продати найбільше насіння фермерам, які прагнуть заощадити гроші і використовувати менше хімічних пестицидів.

Трансгенні рослини, стійкі до гербіцидів, наразі використовують все частіше. Сьогодні, перебуваючи у стані певної ейфорії від здобутків «генної революції», людство, на жаль, не усвідомлює можливих загроз. Повної мірою, мабуть, їх і неможливо оцінити, оскільки у процесі вбудовування гена модифікований організм набуває низки властивостей, появу яких передбачити складно через недостатню вивченість механізмів функціонування геному рослин. Внаслідок цього при виробництві генетично-модифікованих організмів (ГМО) існує цілий ряд небажаних явищ, таких як токсичність та алергенність накопичених гербіцидів в стійких до них сортах рослин та ґрунті, віддалений мутагенний та канцерогенний вплив [27].

Основним аргументом на користь безпечності ГМ-продуктів є те, що протягом століть люди модифікували тварин і рослини шляхом схрещування і гібридизації з корисними результатами та без фізіологічних проблем. Цей аргумент, проте, має кілька серйозних недоліків. Одним з очевидних недоліків є те, що традиційне схрещування, яке проводилося протягом тисячоліть шляхом відбору серед альтернативних менделівських ознак в популяціях генетично подібних рослин і тварин. Іншими словами, відбір проводився серед близькоспоріднених видів і родів.

Одним із важливих методів генної інженерії є використання ДНК-векторів. Вектори – це крихітні фрагменти ДНК, які називаються плазмідами і транспозонами, або частини організмів, такі як бактерії і віруси, які переносять фрагмент гена ДНК з організму-джерела до виду-хазяїна, що змінюється.

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

Але коло хазяїв, здатних прийняти той чи інший вектор і його ДНК, обмежене.

Прихильники безпеки ГМ-продуктів стверджують, що генетична модифікація є більш точним процесом, ніж виробництво продуктів харчування шляхом традиційного схрещування, оскільки генетична ознака, що зазнає модифікації, виділяється біохімічно з лабораторною точністю. Традиційна селекція маніпулює вузьким спектром генів і пов'язаних з ними ознак у організмів, які є досить схожими. Генна інженерія здатна вбудовувати функціональні гени в рослину з рослин, що сильно відрізняються один від одного, або навіть з бактерій, як це вже обговорювалося, або з тварин. Мета полягає в тому, щоб створити організм (скажімо, посухостійкий або поглинаючий вологу чи мінерали), який би давав товарний урожай навіть за несприятливих кліматичних умов.

Останнім часом з'являється все більше нових даних щодо небезпеки гліфосату. Введення таких нових сортів сої може в подальшому призводити до неконтрольованого горизонтального перенесення конструкцій, що визначають різні типи стійкості до пестицидів, шкідників і хвороб рослин, унаслідок переzapилення із дикими спорідненими видами, що призводить до зниження біорізноманітності диких форм культурних рослин, порушення рівноваги біоценозів і появи бур'янів з підвищеною стійкістю до гербіцидів.

Зниження сортової різноманітності сільськогосподарських культур при масовому застосуванні ГМО, отриманих з обмеженого набору батьківських сортів, відбувається унаслідок звуження генетичної бази насінництва. Термінаторні технології представляють особливу небезпеку для покупців, оскільки насіння, що продається біотехнологічною фірмою, дає лише один урожай. Спроба використовувати частину урожаю для посіву наступного року призводить до того, що насіння або не проростає, або гине відразу після проростання. Все це робить будь-якого покупця насіння абсолютно залежним від компаній, що виробляють насіння ГМ рослин, гербіциди та інсектициди.

Отже, створення гліфосат-толерантної сої дозволяє значно скоротити фінансові витрати на продукцію та дає додатковий прибуток. Зручність її використання забезпечується горизонтальним перенесенням генів, завдяки якому сорт ГМ-рослини зберігає стійкість до гербіциду з року в рік. Але в той



## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

же час, впровадження у сільськогосподарське виробництво генетично модифікованих рослин, стійких до гербіцидів, призводить до зниження біорізноманіття диких форм культурних рослин, порушення рівноваги біоценозів.

Викид ГМО в навколишнє середовище залежить від такої кількості факторів, що повністю контролювати це неможливо. Вчені також попереджають про інші можливі серйозні наслідки та довгострокові непередбачувані ефекти, такі як:

- Ризик незворотного забруднення екосистеми
- Зменшення біорізноманіття
- Нові харчові алергени та токсини, що виникають при виробництві харчових продуктів

- Потенційний ризик інфекцій і мутацій в клітинах людини

- Еволюція нових штамів вірусу
- Зростаюча стійкість до антибіотиків, які використовуються для покращення харчування. Загроза стійкості до антибіотиків

- Горизонтальний перенос генів (HGT) досить рідкісний. Однак існує ймовірність трансгенів, які можуть мати значний вплив на здоров'я та екологію. Таким чином, увага для розгляду біобезпеки полягає в можливих наслідках такого переносу до нетрансгенних рослин від трансгенних. Можливість переносу генів між бактеріями та рослинами в ґрунті чи кишечнику розглядається як небезпека, пов'язана з трансгенними рослинами, особливо коли це пов'язано з можливим перенесенням генів, що кодують стійкість до антибіотиків. Таким чином, рівень значущості цього занепокоєння як ризику залежить від імовірності горизонтального переносу генів і величини пов'язаного несприятливого результату;

- Поява супер-бур'янів (Super Weed). Більша частина генетичної трансформації в наш час проводиться для стійкості до гербіцидів або стійкості до комах, що є корисним для захисту наших культур. Однак потік генів через перехресне запилення для ознак, пов'язаних із стійкістю, може призвести до розвитку толерантних/стійких бур'янів, які важко знищити. Трансгени можуть призвести до еволюції «супербур'янів», що надає конкурентні переваги диким родичам видів ГМ-культур [28].

Екологічні та інші екологічні ризики можуть виникнути через перехресне запилення між ГМ-культурами та їх місцевими-

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

ми дикими родичами, що потенційно може призвести до втрати біорізноманіття, а також до появи та поширення шкідників, хвороб і бур'янів, які можуть набути такої ж стійкості, як і створені в рослині. Потенційні ризики, пов'язані з генетично модифікованими організмами (ГМО) змусили уряди та громадянське суспільство вирішувати питання «біобезпеки» в усіх чотирьох основних секторах біотехнології: медичному/фармацевтичному, сільськогосподарському, промислового та екологічному;

○ Потік генів (Gene Flow). Переміщення генів між геномами видів або між середовищами називається потоком генів. Однак, з точки зору біотехнології, потік генів — це можливість того, що ГМ-культури можуть гібридизуватися з іншими спорідненими видами та їхніми дикими родичами, що призводить до перенесення трансгенів із ГМ-культур до їхніх диких аналогів. З одного боку, агробіотехнологія має потенціал для введення цікавої ознаки, з іншого боку, вона також включає ризики генетичного переміщення генів, які інакше не існували б у рослинах [30].

Гени-маркери стійкості до антибіотиків зазвичай використовуються для цілей скринінгу трансгенних рослин і організмів. Але їх вплив на здоров'я людини також має бути з'ясовано заздалегідь, щоб забезпечити критичний рівень. Вчені показують, що внесок, який можуть зробити рекомбінантні бактерії, настільки малий, що маркери стійкості до антибіотиків не становлять істотного ризику для здоров'я людини, оскільки внесок ГМ-рослин у стійкість до антибіотиків був зовсім незначним. порівняно з рецептом антибіотиків, який зазвичай призначають у клінічній та фармацевтичній практиці. Однак не можна ігнорувати й користь для здоров'я, особливо коли ми говоримо про зменшення споживання пестицидів у залишкової формі в продуктах харчування. Деякі з переваг для здоров'я були отримані у формі біозбагачення, тобто збільшення певних поживних речовин. Одним із прикладів є золотистий рис із підвищеною доступністю вітаміну А. Отже, вчені та дослідники рослин не можуть надати жодних гарантій, що сорт, вироблений за допомогою ГМ процесу, буде повністю вільним від усіх негативних впливів на навколишнє середовище чи здоров'я людини. Тому, експресію рекомбінантного білка потрібно критично й ретельно оцінювати всіма способами та з

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

кожного аспекту, включаючи найважливіші, такі як здоров'я, алергенність, токсичність тощо [31].

Збереження агробіорізноманіття є глобальною проблемою сучасності. Як міжнародні, так і окремі національні урядові організації повинні функціонувати скоординовано, щоб можна було впоратися з проблемами цього аспекту за допомогою ефективного підходу, оскільки це міждисциплінарне питання, що охоплює «торгівлю, охорону здоров'я, навколишнє середовище, інтелектуальну власність і сільське господарство». Деякі організації, такі як ЄС, обмежили імпорт сільськогосподарських культур із вставленими генами, посилюючись на занепокоєння щодо навколишнього середовища, екології та здоров'я людини [32].

Деякі експерти прогнозують, що до 2100 року населення світу досягне 10 мільярдів. Щоб задовольнити потреби світового споживання продуктів харчування, пропонується використовувати ГМО. Поточні потужності сільського господарства не зможуть підтримувати зростання населення [33].

Біотехнологія є важливим підходом у цьому випадку, оскільки вона може дозволити вирощувати окремі види рослин на необроблених площах і створювати види рослин, стійкі до різних кліматичних умов. Ці види рослин мали б значно кращу ефективність і врожайність і таким чином значно зменшили б втрати, спричинені комахами та паразитами.

*Конвенція про біологічне різноманіття* – міжнародна угода, прийнята в Ріо-де-Жанейро 5 червня 1992 року. Вона набула чинності 29 грудня 1993 року. Її мета – збереження та відновлення біологічного різноманіття, його стале використання, в тому числі і шляхом справедливого розподілу отриманих від цього вигод, пов'язаних з використанням генетичних ресурсів, у тому числі шляхом надання необхідного доступу до генетичних ресурсів і шляхом належної передачі відповідних технологій з урахуванням усіх прав на такі ресурси, а також шляхом належного фінансування [34].

Завдяки втручанню людини, руйнуванню екосистем, темпи вимирання окремих видів живих організмів сьогодні у сотні чи навіть тисячі разів перевищують ті, які є нормою. Втрата біорізноманіття збіднює всю планету, супроводжує деградацію екосистем і може мати негативний вплив на сільськогосподарське виробництво та на економіку цілих регіонів, а та-

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

кож на сільське населення, яке використовує не тільки культивовані культури, але й дикі.

Основною вимогою щодо збереження біологічного різноманіття є збереження *in-situ* екосистем і природних місць мешкання, підтримка і відновлення життєздатних популяцій видів у їх природних умовах, та прийняття заходів *ex-situ*, віддаючи перевагу країні походження, також має велике значення.

Збереження *in-situ* означає збереження екосистем і природних місць перебування, а також підтримку і відновлення життєздатних популяцій видів в їх природному середовищі, а стосовно одомашнених або культивованих видів - в тому середовищі, в якому вони набули своїх відмітних ознак. Як правило, мається на увазі збереження компонентів біологічної різноманітності на територіях, природно-заповідного фонду: заповідниках, заказниках, національних парках, пам'ятках природи тощо. Особливо звертається увага на збереження місць життя видів і структури взаємозв'язків.

Збереження *ex-situ* означає збереження компонентів біологічної різноманітності поза їх природними місцями перебування. Мається на увазі збереження видів у зоопарках і в лабораторіях, зокрема пропонується ведення генетичних банків цих вимираючих видів, щоб надалі мати можливість відновити загублене (наприклад, шляхом клонування).

У січні 2000 року було схвалено Протокол про біобезпеку, відомий як *Картахенський протокол*. Спочатку передбачалося прийняття Протоколу в лютому 1999 року в колумбійському місті Картахена-де-Індіас (цим пояснюється походження назви документа). Однак, через суперечності між деякими учасниками переговорів остаточний варіант Протоколу було прийнято 29 січня 2000 року в м. Монреаль (Канада).

Це додаткова угода до Конвенції про біорізноманіття, яка направлена на захист біологічного різноманіття від потенційних ризиків, спричинених генетично зміненими організмами, які є результатом сучасних біотехнологій. 159 країн та Європейський Союз є сторонами Картахенського протоколу про біобезпеку. Документ набув чинності в 2003-2004 роках. Україна приєдналася до нього у 2002 році [35].

Картахенський протокол став першим юридично обов'язковим документом, який має на меті регулювання міжнародних перевезень ГМО та гарантування безпеки під час перемі-

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

щення, переробки Живих Генетично Змінених Організмів та їх використання, і спрямований на захист біорізноманіття і здоров'я людей.

Протокол декларує правила обробки та використання всіх живих змінених організмів, які можуть несприятливо впливати на здоров'я людини. Законом встановлені вимоги до ГМО та порядок їх вивільнення у навколишнє природне середовище з метою апробації (випробовувань), проведення державної реєстрації, видачі дозволів, вимоги до використання, транспортування, зберігання та утилізації ГМО. Закон забороняє вивільнення, ввезення, введення в обіг продукції з ГМО без державної реєстрації.

Використання у сільськогосподарській, медичній, науково-практичній та інших сферах людської діяльності живих генетично змінених організмів (ЖГЗО) дає можливість розв'язати ряд найгостріших проблем сучасності. Але є побоювання вчених і громадськості, що діяльність, пов'язана з вивільненням живих змінених організмів у довкілля, може призвести до негативних наслідків, серед яких – створення потенційної небезпеки біологічному різноманіттю внаслідок самосійного поширення живих змінених організмів, а також неконтрольоване утворення нових генетичних конструкцій [35].

На сьогоднішній день розроблено численні протоколи, які стосуються регуляторного питання регулювання на різних рівнях.

*Національне законодавство можна згрупувати за наступними категоріями:*

- закони та нормативні акти з безпеки та гігієни праці, які всебічно стосуються сільського господарства;
- закони та нормативні акти з безпеки та гігієни праці, які не виключають сільське господарство;
- закони та нормативні акти з безпеки та гігієни праці, які опосередковано або конкретно виключають сільське господарство або певні категорії працівників сільського господарства;
- правила, стандарти та кодекси практики, які визначають заходи з безпеки та охорони здоров'я, що стосуються безпеки та охорони здоров'я, що стосуються:
  - мобільної техніки для сільського та лісового господарства
  - пестицидів та інших агрохімікатів,
  - перелік визнаних професійних захворювань у сільському господарстві,

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

- запобігання нещасним випадкам у елеваторах та інших закритих приміщеннях,
- засоби індивідуального захисту,
- спеціальні захисні заходи при використанні вибухових речовин,
- професійне медичне обслуговування в сільському господарстві,
- соціально-побутове, житлове та інше забезпечення.

*Важливі міжнародні організації для регулювання біобезпеки.* Хоча Картахенський протокол з біобезпеки є єдиним міжнародним документом, який стосується виключно ГМО, він не існує у вакуумі. Конвенція про біологічне різноманіття, яка є «матір'ю» Протоколу, сама вимагає від урядів вжиття заходів з регулювання, управління або контролю ризиків, пов'язаних з використанням та вивільненням ГМО. Існує також низка окремих міжнародних документів та процесів встановлення стандартів, які стосуються різних аспектів біобезпеки. До них відносяться:

*Міжнародна конвенція про захист рослин (МКЗР) The International Plant Protection Convention (IPPC)*, яка захищає здоров'я рослин шляхом оцінки та управління ризиками шкідників рослин. МКЗР знаходиться в процесі встановлення стандартів для вирішення ризиків шкідників рослин, пов'язаних з ГМО та інвазивними видами. Будь-який ГМО, який може розглядатися як шкідником рослин, підпадає під сферу дії цього договору. МКЗР дозволяє урядам вживати заходів для запобігання інтродукції та розповсюдження таких шкідливих організмів. Вона також встановлює процедури аналізу фітосанітарних ризиків, включаючи впливу на природну рослинність.

*Комісія Кодекс Аліментаріус*, яка займається питаннями безпеки харчових продуктів та здоров'я споживачів. Комісія створила спеціальну Міжурядову цільову групу з продуктів харчування, отриманих біотехнологій, яка відповідає за розробку стандартів та керівних принципів щодо генетично модифікованих продуктів харчування. Комісія також розглядає питання маркування біотехнологічних продуктів харчування, що дозволить споживачеві зробити усвідомлений вибір.

*Всесвітня організація охорони здоров'я тварин ВООЗТ (The World Organization for Animal Health – OIE)*, яка розробляє стандарти і керівництва, призначені для запобігання занесен-

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

ню збудників інфекційних хвороб в країну-імпортера при міжнародній торгівлі тваринами, генетичним матеріалом тварин і продуктами тваринного походження. У 2000 році Комісія ВООЗТ зі стандартів опублікувала «Керівництво зі стандартів діагностичних тестів і вакцин». Аналогічно, робоча група ВО-ОЗТ з біотехнології підготувала декілька технічних публікацій, що стосуються тваринництва та аналізу ризиків. Однак, вона ще не затвердила міжнародні стандарти з біотехнології.

Законодавчі заходи, які впроваджуються сьогодні, спрямовані на захист сільськогосподарського розмаїття країни та екосистемних ресурсів від невідомих наслідків, пов'язаних із генетично модифікованими культурами. Існують різні організації, які пильно стежать за діяльністю, пов'язаною із генетично-інженерними культурами. Продовольча та сільськогосподарська організація Об'єднаних Націй (ФАО) звертається з проханням про допомогу від урядів країн-членів щодо зміцнення національних систем біобезпеки, включаючи ретельну розробку та впровадження нормативних актів, навчання персоналу регуляторних органів щодо оцінки ризиків та виявлення ГМО, модернізацію інфраструктури, покращення комунікації та участі громадськості в процесі прийняття рішень щодо біобезпеки.

Важливі міжнародні регулюючі установи для регулювання біобезпеки також зображені на Табл. 1.

*Таблиця 1.*

<b>Організація</b>	<b>Зона дії</b>
<b>Кодекс Аліментаріус (Codex)</b>	Стандарти та рівні харчування
<b>Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ, WHO)</b>	Шкідники та збудники хвороб (рослини)
<b>Міжнародна конвенція із захисту рослин (IPPC)</b>	Наука про здоров'я та політика
<b>Міжнародна епізоотична організація (ОІЕ)</b>	Шкідники та збудники хвороб (тварини)
<b>Продовольча та сільськогосподарська організація (ФАО) ООН</b>	Програми продовольчої безпеки
<b>Картагенський протокол біобезпеки (BSP)</b>	Транскордонні переміщення живих змінених організмів
<b>Організація економічного співробітництва та розвитку (ОЕСД)</b>	Гармонізація (узгодження) науки та/або прогресу
<b>Світова організація торгівлі (СОТ, WTO)</b>	Правила торгівлі всіма товарами; механізм вирішення суперечок
<b>Регіональні ініціативи</b>	Узгодження стандартів та політик

*Джерело: сформовано автором.*

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

Постійна потреба в експертних органах стає надзвичайно важливою, щоб пояснити регуляторні питання органам влади щодо заявок на генетичну модифікацію для схвалення нового посадкового матеріалу та генетично модифікованих харчових продуктів.

Правила біобезпеки керуються багаторівневими структурами прийняття рішень. Останні події, пов'язані з біозахистом у харчовій промисловості та сільському господарстві, включають тенденцію до інтеграції та співпраці між секторами. На міжнародному рівні ця тенденція продемонстрована в Угоді СОТ про застосування санітарних і фітосанітарних заходів (Угода SPS) і Конвенції про біологічне різноманіття (CBD) і її Картахенському протоколі з біобезпеки. Це також розглядається в Кодексі Аліментаріус ФАО/ВООЗ, Міжнародній конвенції із захисту рослин (IPPC) і Кодексі поведінки ФАО щодо відповідального рибальства. IPPC робить ключовий внесок у біозахист, зменшуючи ризики інтродукції шкідників рослин, які можуть вплинути на сільське господарство та навколишнє середовище [38].

Також в Україні існує Українська асоціація безпеки (УАБ). Одним із завдань якої є підвищення обізнаності з питань біобезпеки та біозахисту серед вчених, технічних фахівців, педагогів та інших громадян України, які працюють в галузі біотехнології, фармацевтичної та харчової промисловості, молекулярної і клітинної біології, вірусології, мікробіології, охорони здоров'я, ветеринарії тощо.

Система регулювання ГМО продукції в Україні відносно нова. Основний закон «Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні генетично модифікованих організмів» був прийнятий 30 травня 2007 року. У Законі про біобезпеку викладено основні принципи державної політики у галузі поводження з ГМО, серед них – пріоритетність збереження здоров'я людини і охорони навколишнього природного середовища порівняно з отриманням економічних переваг від застосування ГМО, а також забезпечення заходів безпеки при створенні, дослідженні та практичному використанні ГМО у господарських цілях. Він залишається незавершеним та в значній мірі не функціональним [40].

В Україні на сьогодні заборонено вирощування ГМ-рослин у відкритому ґрунті. Офіційно у нас немає жодного проду-



## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

кту з ГМО, але за даними Все-української екологічної ліги, в Україні майже 80% трансгенної сої.

Закон України «Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні генетично модифікованих організмів» забороняє вивільнення в навколишнє природне середовище ГМО до їх державної реєстрації, крім вивільнення при проведенні державних випробувань. Тобто норми Закону в Україні не виконують.

У Законі також встановлено, що держава через уповноважені органи має контролювати проведення заходів біологічної і генетичної безпеки щодо сільськогосподарських рослин. Але забезпечення дотримання суб'єктами господарювання вимог Закону без встановлення відповідальності є неможливим, оскільки при виявленні порушень Закону уповноважені законодавством органи за наслідками здійснення заходів державного нагляду (контролю) не можуть вплинути на їх усунення [40].

Сільське господарство є основним внеском країни в економічний розвиток, оскільки є однією з найбільших галузей промисловості країни, а також є основним джерелом ВВП країни, збільшує зайнятість, забезпечуючи робочі місця як для кваліфікованих, так і для некваліфікованих працівників, відіграє важливу роль у забезпеченні продовольством людей в усьому світі, є найбільшою галуззю промисловості з усіх відомих, сільське господарство використовує максимальну площу земель країни, а також сприяє передачі традиційних знань фермерам. Деякі з основних проблем, пов'язаних з реалізацією біобезпеки, а також вибір стратегій і дій для забезпечення агропродовольчої безпеки, описані в наведеній діаграмі Показує всі виклики і варіанти політики для забезпечення агропродовольчої безпеки показує всі основні проблеми і варіанти стратегій для забезпечення безпеки продуктів харчування, вироблених у сільському господарстві. Основним викликом для біобезпеки є посилення голоду та бідності в країні для забезпечення стійкості. Важливим та необхідним залишається менше використання пестицидів та агрохімікатів при вирощуванні сільськогосподарських рослин та навпаки застосування біологічних мікробних препаратів, які здатні покращувати агрономічні показники ґрунту, сприяють поліпшенню ростових процесів сільськогосподарських культур та отриманню сталого, якісного врожаю.

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

### Література до розділу 8:

1. Zaid A.; Hughes H.G., Porceddu E., Nicholas F. (2001). Glossary of Biotechnology for Food and Agriculture. A Revised and Augmented Edition of the Glossary of Biotechnology and Genetic Engineering. Publishing and Multimedia Service. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.
2. Bakshi S., Dewan, D. Status of transgenic cereal crops: a review. *ClonTransgen*. 2013. Vol. 3(119). P. 2-16.
3. Pental D. When scientists turn against science: exceptionally flawed analysis of plant breeding technologies. *Current Science*. 2019. Vol. 117(6). P. 932-93.
4. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року». Відомості Верховної Ради (ВВР), 2019, №16, ст. 70.
5. Закон України «Про національну безпеку України». Відомості Верховної Ради (ВВР), 2018, №31, ст. 241.
6. Стратегія національної безпеки України «Безпека людини – безпека країни», затвердженої Указом Президента України від 14 вересня 2020 р. №239/2020, Указ Президента України від 14 вересня 2020 р. №239/2020» рішення Ради національної безпеки і оборони України від 27 лютого 2009 р. «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 27 лютого 2009 р. Про біологічну безпеку України»
7. Gupta K. et al., “Biosafety Regulations of Asia- Pacific Countries”, Asia- Pacific Consortium on Agricultural Biotechnology, New Delhi and Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, pp. 18–27, 2008
8. Zhou D., Song H., Wang Ji., Li Z., Xu Sh., Ji Xi., Hou Xu., Xu Ji. Biosafety and biosecurity. *Journal of Biosafety and Biosecurity*. 2019. Vol. 1. P. 15-18. DOI: 10.1016/j.jobb.2019.01.001.
9. Waage J., Mumford J.D. Agricultural biosecurity. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Biological sciences*. 2008. Vol. 363. P. 863-876. DOI: 10.1098/rstb.2007.2188.
10. Biorisk management. Laboratory biosecurity guidance. World Health Organization, 2006.
11. OIE. BIOLOGICAL THREAT. REDUCTION Strategy. Strengthening global biological security. October 2015.
12. List of diseases. [www.oie.int/listed-diseases](http://www.oie.int/listed-diseases)

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

13. Ahmad A., Ghouri M., Khan Zu-N., Khan H., Ismail M., Syed O., Aftab Q., Sultan A. (2020). Nanotechnology: Transformation of agriculture and food security. *Bioscience*. 2020. Vol. 3. P. 19. DOI: 10.28933/AJBB.

14. Romeis et al. Genetically engineered crops help support conservation biological control. *Biol Contr*. 2019. Vol. 130. P. 136-154.

15. Muneer S., Kayani H.A., Ali K., Asif E., Zohra R.R. Laboratory biosafety and biosecurity related education in Pakistan: Engaging students through the Socratic method of learning. *Journal of Biosafety and Biosecurity*. 2021. Vol. 3(1). P. 22-27.

16. Collins, J. «Synthetic Biology: Bits and pieces come to life». *Nature*. 2012. Vol. 483 (7387). P. 8–10. DOI:10.1038/483S8a.

17. Paduchuri P., Gohokar S., Thamke B., Subhas M. Transgenic tomatoes – a review. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*. 2011. Vol. 1(2). P. 69-72.

18. Dhaese P., De Grevet H., Decraemer H., Schell J., Van Montagu M. tRapid mapping of transposon insertion and deletion mutations in the large Ti-plasmids of *Agrobacterium tumefaciens*. *Nucleic Acids Research*. 1979. Vol. 7(7). P. 1837-1849.

19. Димань Т.М., Барановський М.М., Білявський Г.О. Екотрофологія. Основи екологічно безпечного харчування: навч. посіб. К.: Лібра. 2006. С. 66 – 71.

20. Njiti V., Myers O., Schroeder D., Lightfoot D. Roundup Ready Soybean. *Agronomy Journal*. 2003. Vol. 5. P. 1140-1145. DOI:10.2134/agronj2003.1140

21. Matovu J. Does the Inclusion of Second Generation Genetically Modified Plants in Feeds have any effect on Animal Performance?. *Turkish Journal of Agriculture*. 2021. Vol. 9. P. 1799-1807. DOI: 10.24925/turjaf.v9i10.1799-1807.4104.

22. Yonekura-Sakakibara K., Saito K. Review: Genetically modified plants for the promotion of human health. *Biotechnology letters*. 2007. Vol. 28. P. 1983-91. DOI: 10.1007/s10529-006-9194-4.

23. EISSA E. A. Genetic transformation of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) calli by biolistic gun and via *Agrobacterium tumefaciens*. *Egyptian Journal of Genetics And Cytology*. 2013. Vol. 42(1). P. 1-16.

24. Svobodová et al. Stacked Bt maize and arthropod pred-

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

ators – Exposure to insecticidal Cry proteins and potential hazards. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2017. Vol. 284. P. 20170440.

25. Meissle et al. Bt maize and integrated pest management – a European perspective. *Pest Manag Sci*. 2011. Vol. 67, P. 1049-1058.

26. Riaz A., Karamat U., Tabusam J., Manan A., Buttar S.U., Shafqat K. Benefits of genetically modified crops, Biosafety concerns and related risks; *A South Asian Perspective. Nature and Science*, 2018. Vol. 16(9). P. 87-93.

27. Teferra T.F. Should we still worry about the safety of GMO foods? Why and why not? *Food Science & Nutrition*. 2021. Vol. 9 (9). P. 5324-5331. DOI:10.1002/fsn3.2499

28. Yu Y., Ding J., Zhou Y., Xiao H., Wu G. Biosafety chemistry and biosafety materials: A new perspective to solve biosafety problems. *Biosafety and Health*. 2022. Vol. 4. DOI: 10.1016/j.bsheal.2022.01.001

29. Nalia A. et al Superweed-An Alarming Threat. *Indian Farmer* . 2019. Vol. 6(12). P. 878-882.

30. van de Wiel, Clemens & Groot, M.H.M. & Nijs, J.C.M.. Gene flow from crops to wild plants and its population-ecological consequences in the context of GM-crop biosafety, including some recent experiences from lettuce. *Proceedings of the Frontis workshop on Environmental Costs and Benefits of Transgenic Crops Wageningen, The Netherlands 1-4 June 2003*. 2007. Vol. 7. P. 97 – 110. 10.1007/1-4020-3249-8\_12.

31. Key S., Ma J.K., Drake P.M. Genetically modified plants and human health. *Journal of the Royal Society of Medicine*. 2008. Vol. 101(6). P. 290-298. DOI:10.1258/jrsm.2008.070372

32. Kumar S. Biosafety Issues of Genetically Modified Organisms. *Biosafety*. 2014. Vol. 3. P. e150. DOI: 10.4172/2167-0331.1000e150.].

33. Bardi U. 'Food Scarcity. Unavoidable by 2100? Impact of Demography & Climate Change' by Raoul Weiler and Kris Demuynck. *The Journal of Population and Sustainability*. 2017. Vol. 2(1). P. 73-76. DOI: 10.3197/jps.2017.2.1.73.

34. Convention for Biological Diversity, Statute of Convention of Biological Diversity, Annex I (1992). <http://www.cbd.int>. Accessed 25 Sept 2017

35. Cartagena Protocol on Biosafety, Annex to the Conven-

## РОЗДІЛ 8. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОБЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

---

tion of Biological Diversity (2006). <http://www.cbd.int/cartagena>. Accessed 25 Sept 2017

36. Gupta A. (2013). "Biotechnology and biosafety", in The Handbook of Global Climate and Environment Policy, 1st ed., R. Falkner, Ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd, pp. 22-33.

37. FAO Biosecurity Toolkit (2007). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

38. Meyer H. The Cartagena Protocol on Biosafety. *Biotechnology and Development Monitor*. 2000. Vol. No. 43. P. 2-7.

39. Boyle R. How to Genetically Modify a Seed, Step By Step. Popular Science. *Popular Science*. 2011. 2011-01.

40. Закон України «Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні генетично модифікованих організмів» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1103-16#Text>

---

## РОЗДІЛ 9.

### ВІРУСНІ ІНФЕКЦІЇ В АГРОЦЕНОЗАХ УКРАЇНИ

**Цвігун В.О.**

**Ключові слова:** вірусні хвороби, віріон, агроценози, моніторинг, діагностика, екологія, фітовірусологія, зміни клімату, сільськогосподарські культури, інфекція, патогенез, рослини, біорізноманіття, біоценоз, рослини-індикатори, симптоми, мозаїка, імунноферментний аналіз (ІФА), полімеразна ланцюгова реакція (ПЛР).

Сучасна екологічна криза на Землі пов'язана, передусім із надмірним «споживанням» її ресурсів та впровадженням у цикли життя людини технологій, які не відповідають законам Природи в її складних ланцюгах. Антропогенний вплив на Природу призводить до різкого потепління, циклонів, повеней, цунамі, зливів, землетрусів, аварій на атомних електростанціях, випробування у військових цілях хімічної, біологічної та ядерної зброї [1].

Слід зазначити, що застосування різного типу сучасних технологій часто індукує непередбачувані наслідки для живих систем, наприклад, виникнення нових патогенних мікроорганізмів та їх модифікацій, які негативно впливають на людину, рослини і тваринний світ. За таких умов різного походження патогени людини, тварин та рослин набувають нових властивостей, а швидка мінливість вірусів підсилює їхню здатність захоплювати нові екологічні ніші та спричиняти епідемії.

Вірусні захворювання є одним з основних обмежуючих факторів у вирощуванні культурних рослин [2]. Питання мінімізації ризиків, які обумовлюються вірусними інфекціями рослин, завжди привертало увагу вчених, оскільки вірусні хвороби не лише є причиною значних втрат врожаю, але й слугують чи не єдиним прикладом захворювань, які не можна вилікувати або ж лікування яких не є рентабельним. Очевидно, що взаємодія рослин, з вірусами під впливом факторів довкілля є комплексною і включає інші патогени, комахи-переносники, інші рослини (в тому числі, резервуари), а також абіотичні та антропогенні фактори [2].

Кількість вірусів, які інфікують культурні рослини, невпинно зростає. Причиною цього є адаптація нових сільськогосподарських практик, глобальне потепління та поширення векторів, а також глобалізація, яка супроводжується масовим і швидким обміном насіннєвим та посадковим матеріалом між різними регіонами земної кулі. Згідно останнього звіту комітету з таксономії вірусів, нині відомо більше 1000 вірусів рослин [3], причому більше 300 вірусів уражують овочеві культури [4]. Інтенсифікація виробництва призвела до сильних екологічних зрушень в агроценозах, у тому числі, до змін у видовому та штамовому різноманітті вірусів рослин [5]. Це спричинило появу в Україні нових захворювань вірусної природи та збільшення агресивності вже присутніх видів [6]. Враховуючи важкість наслідків ураження овочевих культур вірусами (зниження врожайності, втрата комерційної якості продукції, швидке виродження сортів), питання захисту від фітовірусів та їх попередження стоїть для України та світу вкрай гостро [7]. Ураженість вірусами підвищує сприйнятливість рослин до різних чинників навколишнього природного середовища, а також до збудників грибних і бактеріальних хвороб. За останні 30-40 років спектр вірусів, що уражують рослини лісів та сільськогосподарських культур на території України значно розширився. При цьому вірози суттєво зменшують врожайність сільськогосподарських культур (до 30-60%), а в деяких випадках призводять до втрати всього врожаю. Слід зазначити, що окрім інших чинників, ступінь прояву та характер симптомів захворювання сильно залежать від того, уражена рослина одним видом вірусу, чи кількома. Саме тому вивчення взаємодії різних вірусів на рівні організму хазяїна є важливим для попередження багатьох захворювань рослин.

Відомі два основні підходи до контролю вірусних захворювань рослин [2]. Перший полягає у системному моніторингу вірусних інфекцій рослин на предмет їхньої ураженості вірусами. Така робота передбачає регулярне обстеження значних площ, відбір великої кількості зразків різних рослин та їхній подальший аналіз для діагностики різних вірусних хвороб. Такий підхід раніше використовували лише для окремих с/г культур стратегічного значення та лише для обмеженого кола їхніх патогенів. Другий підхід відрізняється спрямованістю щодо факторів, які впливають на динаміку конкретного вірусного захворювання на певній культурі і за відповідних умов.

Зважаючи на це, науковці пропонують зосередити увагу на низці основних факторів ризику з урахуванням епідемічного ланцюга відомих та нових в Україні вірусних патогенів, шляхів їхньої передачі та збереження в екосистемі, наявності сприйнятливих дикорослих та культурних рослин, особливостей екосистеми та інших факторів [1]. У науковій літературі останнім часом спостерігається сплеск публікацій, які всебічно висвітлюють та розвивають уявлення про епідеміологічно-генетичні взаємодії як всередині вірусних популяцій, так і за взаємодії вірус-господар на різних рівнях. Також наразі активно розвивається паралельна тематика з вивчення вірусів дикорослих рослин, які не були відомі раніше, та їх ролі в якості «генетичного пулу» вірусних геномів у рослинах дикої флори. Актуальність даної тематики пояснюється можливістю перехресного обміну вірусами між дикорослими та культурними рослинами за допомогою векторів, агротехнічних засобів та ін., а також вірогідною рекомбінацією вірусів між собою з непередбачуваними епідемічними наслідками. Іншими словами, віруси дикорослих рослин розглядаються як засіб еволюції та «епідеміологічного пристосування» вірусів культурних рослин до змін довкілля [8].

До недавнього часу вважалося, що більшість вірусів рослин, які мають одноланцюговий «+» РНК-геном є високо мутабельною і відповідно повинна дуже швидко еволюціонувати. Однак за останні декілька років накопичено багато свідчень протилежної тенденції, що вочевидь пов'язано з необхідністю стабілізації геному вірусів до певних умов клітини-господаря (включаючи дію стресових факторів антропогенно модифікованого довкілля), де швидка зміна їхніх молекулярно-біологічних характеристик буде скоріше перешкоджати, ніж призводити до позитивних наслідків. З іншого боку, саме зміна умов існування (характеристик клітини/рослини господаря) здатна призводити до утворення нових штамів чи навіть видів вірусів, за умови, що геном даного вірусу має потенціал до такого пристосування [4].

Таким чином, віруси рослин вимушені постійно балансувати між підтримуванням консервативності свого геному для збереження ознак, цінних для виживання популяції, та його варіабельністю для пристосування до умов, які суттєво відрізняються від попередніх. Така гіпотеза знайшла широке визнання у сучасному науковому світі, підкріплена фактичними



результатами і, власне, є підґрунтям актуальності вивчення епідемічного потенціалу вірусів на основі їх молекулярного типування й порівняння [7].

Україна, будучи аграрною державою, не залишається осторонь проблем, пов'язаних із ризиком розвитку та розповсюдження вірусних хвороб рослин в агроценозах. Зважаючи на економічну і екологічну важливість сільськогосподарської продукції та лісових екосистем для господарювання і в майбутньому для зниження негативних наслідків зміни клімату, необхідно розширювати дослідження вірусів рослин [6].

Середні втрати урожаю на території України від вірусних інфекцій можуть сягати: зернових культур від вірусу жовтої карликовості ячменю - 60–96 %, пшениці від вірусу смугастої мозаїки - 20–63 %; бобових культур від вірусу мозаїки сої - 26–67 %, сої від вірусу карликовості - 11–46 %. Урожайність овочевих культур від ураження вірусом огіркової мозаїки знижується на 3 – 80 %, вірусом тютюнової мозаїки - 39–57 %; картоплі від Y-вірусу - 4–80%, X- вірусу картоплі - 40–52 %. Плодові культури уражує вірус шарки сливи, який є карантинним видом на території України і втрати урожаю становлять 30–53 %, вірус кільцевої плямистості вишні - втрати на рівні 25–44 %, вірус коротковузля винограду - 20–41 %. У лісових екосистемах виділено та ідентифіковано 9 вірусів, які належать до Potex-, Tobamo-, Poty- та Necrovirus груп. Ці патогени несуть потенційну загрозу для економіки лісового господарства. Ця проблема посилюється зі зміною клімату [3].

Забезпечення збалансованого розвитку та біологічної безпеки в аграрному виробництві, нарощування виробництва якісної та безпечної сільськогосподарської продукції потребує переосмислення значення вірусологічних досліджень і підвищеної уваги до моніторингу та профілактики поширення вірусних патогенів в аграрних і лісових екосистемах, прогнозування епіфітотій вірусів рослин в умовах змін клімату. На жаль, стратегічному питанню моніторингу та контролю вірусних інфекцій приділяється набагато менше уваги, ніж воно того заслуговує.

### ***Загальні принципи розповсюдження вірусів рослин.***

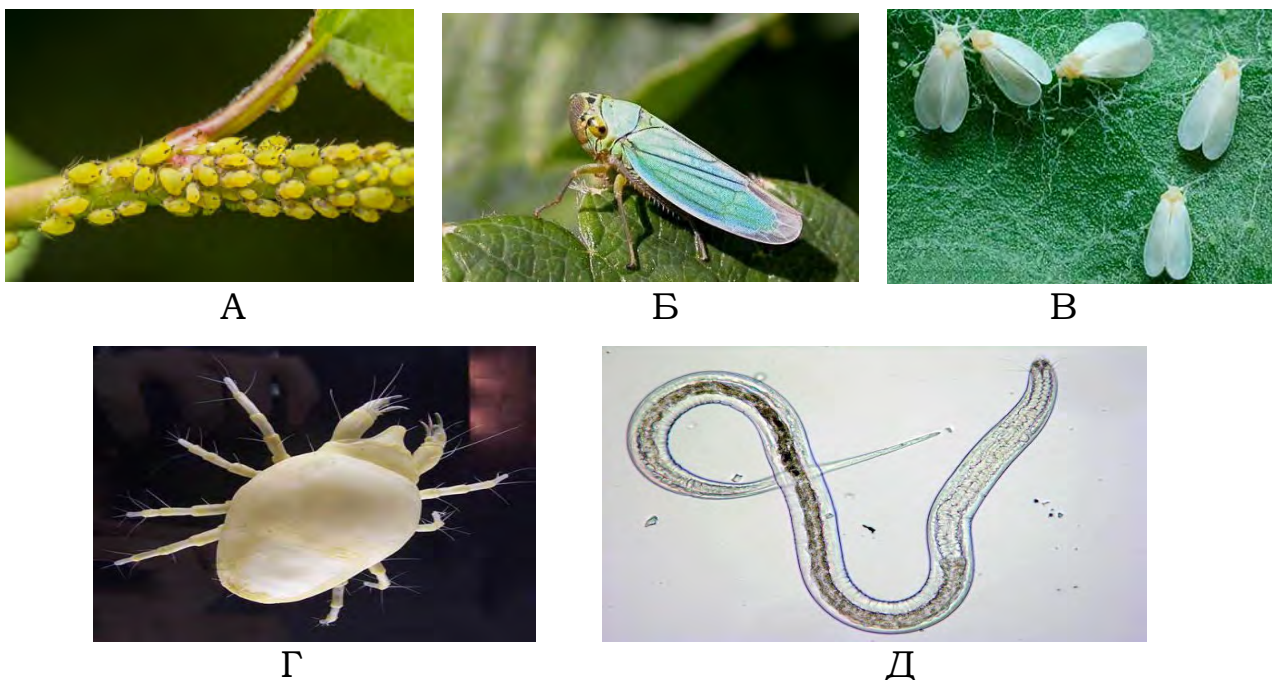
Деяка мінімальна кількість віріонів, які були сформовані у зараженої рослини-господаря, мають бути перенесені до нових господарів, в яких утворюються нові віріони. Якщо цього не відбуватиметься, вірус зникне. Єдиною альтернативною

можливістю для виживання генів вірусу є його збереження в клітинах у вигляді нуклеїнової кислоти, яка реплікується і передається дочірнім клітинам під час ділення [4].

Клітина рослини оточена товстою клітинною стінкою, яка є бар'єром для вірусу. Більшість вірусів рослин долають цю перешкоду за допомогою векторів. Рослину, як джерело живлення, використовує широке коло організмів, і деякі з них, особливо безхребетні, можуть бути векторами (переносниками) для вірусів.

Членистоногих переносників поділяють на рівнокрилих (цикадки, білокрилки, попелиці), напівжорсткокрилих (клопи), жорсткокрилих (жуки), трипсів та кліщів. Тип трансмісії вірусів за допомогою переносників може характеризуватися станом переносника за персистентністю. Це стан, при якому переносник залишається інфекційним після того, як залишить джерело інфекції (неперсистентний, напівперсистентний, персистентний). Тип трансмісії вірусів може також базуватися на поведінці вірусу в переноснику (циркулятивні та нециркулятивні віруси). Циркулятивні у свою чергу поділяють на пропагативні (віруси, здатні до розмноження як у клітинах рослини-господаря, так і в клітинах переносника) та непропагативні (віруси, що циркулюють, але не здатні репродукуватися у векторі, розмножуються тільки в клітинах рослини-господаря) [6]. Прикладом нециркулятивних вірусів є вірус гравірування тютюну, вірус огіркової мозаїки, прикладом циркулятивних вірусів є вірус слабкої плямистості томату, вірус жовтої карликовості ячменю, У-вірус картоплі. Крім того, віруси можуть передаватися через ґрунт за допомогою таких переносників, як нематоди (вірус кільцевої плямистості тютюну, вірус кільцевої плямистості малини, вірус чорної кільцевої плямистості томату) та гриби (вірус некрозу огірка, вірус некрозу тютюну, вірус некротичного пожовтіння жилок буряка, моп-топ вірус картоплі, вірус жовтої мозаїки ячменю, вірус мозаїки вівса) (рис. 1).

Чимало векторів (наприклад попелюхи, нематоди) живляться, проколюючи клітинні стінки і всмоктуючи вміст, тоді як жуки найчастіше бувають такими, що гризуть тканини рослин. Може виникнути питання, яким чином безхребетні, що живляться, всмоктуючи вміст клітин, можуть ввести вірус до життєздатної клітини.



**Рис. 1. Приклади векторів, які здатні передавати віруси рослин: А – попелиці; Б – цикадки; В – біолокрилки; Г – кліщі; Д - нематоди**

*Джерело: [2].*

Деякі фітопатогенні грибоподібні організми, які належать до протистів (нижчих еукаріотів), також можуть бути векторами вірусів. Якщо рослина заражена вірусом і переносником-протистом, віріони можуть переміститися до спори переносника. Вірус може виживати в спорах впродовж місяців і років, поки спори не проростуть і не інфікують нового хазяїна, який стає зараженим і фітопатогенним протистом, і вірусом [12].

Передача вірусів насіння – ефективний спосіб інфікування рослин на ранніх стадіях вегетаційного розвитку. Віруси можуть перебувати у насінні протягом тривалого періоду і тим самим переноситися на великі відстані. На сьогодні відомо близько 20 % вірусів рослин, які передаються за допомогою насіння. Передача вірусу потомству відбувається внаслідок травмування тканини паростків, куди й потрапляє інфекція. Особливо високий процент поширення вірусу насінням спостерігається при сівбі свіжозбираним насінням. Передача за допомогою насіння може відбуватися кількома шляхами, а саме вірус може перебувати всередині насіння (наприклад, вірус

огіркової мозаїки), або вірус може перебувати на поверхні насінневої шкірки (наприклад, вірус тютюнової мозаїки). Таким чином, вчасна діагностика вірусних інфекцій дасть можливість провести обробку як інфікованого насіння, так і рослин і, як наслідок, запобігти втраті урожаю [13].

Гриби – переносники вірусів рослин є одноклітинними організмами. Вони внутрішньоклітинні паразити, проходять дві стадії – рухливої зооспори та товстостінної спори спокою. Відомо близько 30 вірусів рослин, що передаються грибами класу *Chytridiomycetes* роду *Olpidium* та класу *Plasmodiophoromycetes* родів *Polymyxa* і *Spongospora*. Так, наприклад, *Olpidium bomovanus* передає вірус некрозу огірка (*Cucumber necrosis virus*), *Olpidium brassicae* – некрозу тютюну (*Tobacco necrosis virus*), *Polymyxa betae* – некротичного пожовтіння жилки буряку (*Beet necrotic yellow vein virus*), *Polymyxa graminis* – штрихуватих некрозів рису (*Rice stripe necrosis virus*), *Spongospora subterranea* – жовтої плямистості крес-салату (*Watercress yellow spot virus*) тощо [14].

Гриби передають віруси рослинам двома шляхами. За першого віруси, що перебувають у вільному стані в ґрунті, локалізуються (адсорбуються) на зовнішній оболонці зооспор, які з ґрунтовими водами пересуваються від однієї рослини до іншої. Джерелом зооспор можуть бути вегетативні спорангії, або спори, що пройшли стадію спокою, а вірусу – інфіковані корені рослин, рослинні рештки. Вважається, що віруси потрапляють у протоплазму зооспори з джгутиком, який утягується під час утворення цисти й на поверхні якого локалізовані віруси. Нагромаджені в такий спосіб у протоплазмі зооспор віруси переносяться в кореневі клітини рослини в процесі переливання вмісту цисти [2].

Вірусні хвороби можуть передаватися також через ґрунт. Вірусні частки тривалий час від 10 до 29 діб можуть знаходитися у відмерлих рештках рослин наприклад: вірус огіркової мозаїки, вірус тютюнової мозаїки, X вірус картоплі, Y вірус картоплі, вірус жовтої карликовості ячменя [15].

Механізм ураження рослин вірусними патогенами. Клітинна стінка, що оточує плазматичну мембрану рослинної клітини, запобігає прикріпленню і входу вірусів у клітину шляхом, аналогічними для вірусів тварин, а склад клітинної стінки рослин занадто складний для того, щоб віруси кодували відносно невеликі ферменти, які б могли утворювати в ній отвори,

як роблять деякі бактеріофаги. Тому віруси здатні потрапити в цитоплазму рослинної клітини, тільки якщо рослинні тканини пошкоджені. З цієї причини рослини заражаються або за допомогою переносників, або через механічні ушкодження, викликані вітром або іншими причинами. Переносниками вірусів рослин можуть бути попелюхи, що живляться на рослинах, трипси, цикадки, кліщі, нематоди, фітопатогенні протисти та гриби. Коло рослин, що вражаються вірусом, зазвичай визначається видами рослин, на яких може житися переносник [9].

Потрапивши в клітину рослини, вірусна частка в цитоплазмі роздягається, завдяки зв'язуванню білків капсиду з білками цитоплазми рослинної клітини на цей процес впливають також двовалентні катіони типу іонів кальцію. Вивільнений геном вірусу або цілі віріони переміщуються в рослині з клітини в клітину через плазмодесми, забезпечуючи поширення інфекції по рослині. Важливою особливістю фітопатогенних вірусів є кодування вірусами так званих транспортних білків, які сприяють переміщенню вірусних геномів у прилеглі клітини і є консервативними. На значні відстані в рослині віруси поширюються за допомогою флоєми [10].

Порівняно з тваринами, імунна система рослин організована менш складно. В них відсутня циркулятивна система і, відповідно, немає циркулюючих імунних клітин; більше того, у рослин взагалі немає спеціалізованих імунних тканин і органів. Клітини рослин мають клітинну стінку і не здатні до фагоцитозу. Однак рослини здатні на високоспецифічну імунну відповідь. Яким же чином працює імунітет рослин? Рослини використовують іншу в порівнянні з вищими тваринами стратегію захисту від патогенів: кожна рослинна клітина володіє сформованим заздалегідь або індукованим захистом. «Оборонні укріплення» рослин організовані у вигляді двох форм активного імунітету. Ці форми розрізняються за типом індукторів захисної реакції і рецепторам, які використовуються рослинами для активації захисного відгуку [2]. Перша форма запускається консервативними молекулярними патернами, асоційованими з патогенами, або молекулами, що з'являються в результаті впливу патогенів на клітини рослини або, навпаки, впливу рослинних ферментів на мікроорганізми («сигнали небезпеки»). Цю форму імунітету називають імунітетом, що запускається патернами, або базальним імунітетом. Прикладами

асоційованих з патогенами молекулярних патернів є флагелін бактерій, хітин грибів тощо. А патерном, асоційованим з фітопатогенними вірусами, є дволанцюгова РНК, тож головною противірусною реакцією базального імунітету рослин є сайленсинг РНК, який відбувається загалом таким же чином, як і у тварин. Успішні патогени рослин, включаючи вірусів, для придушення реакцій базального імунітету мають великий асортимент білкових ефекторів, які тим чи іншим шляхом запобігають імунному відгуку й індукують у рослин викликану ефекторами сприйнятливість. У свою чергу, рослини виробляють білки стійкості (R-білки), які безпосередньо або опосередковано розпізнають присутність ефекторних білків патогенів і активують другу лінію активної оборони – імунітет, що запускається ефекторами патогенів [11]. Підчас активації цієї форми імунітету запускаються складні каскади передавання внутрішньоклітинних сигналів і активується багато захисних систем. Часто (хоча і не завжди) активація імунітету, що запускається ефекторами, призводить до локалізованої запрограмованої загибелі заражених клітин рослин, так званої надчутливої відповіді.

Фітовіруси викликають у рослин різні патологічні зміни, тому що вірусна інфекція може торкатися практично всі сторони життя рослини. Найбільш часто спостерігається зміна забарвлення (пожовтіння, хлороз), відмирання тканин (некроз) або деформація вегетативних органів рослин. Одним з найбільш звичайних видимих ефектів вірусної інфекції є розвиток певного візерунка, що складається зі світло-зелених і темно-зелених ділянок, ззовні нагадує мозаїку. Природа цієї мозаїки широко різниться для різних рослин та вірусів [27]. У дводольних ділянки, що становлять мозаїку, можуть бути неправильної форми. У них трапляються тільки два відтінки зеленого кольору – темно-зелені та світло-зелені або жовто-зелені, іноді можуть бути різні відтінки зеленого і жовтого кольору. Мозаїки виникають на різних стадіях розвитку листка і можуть залишатися без змін, за винятком збільшення розміру, протягом усього життя листка. Для багатьох мозаїчних хвороб темно-зелені ділянки асоційовані певним чином із жилками. Для листків, що пройшли стадію клітинного поділу в своєму рості (близько 4–6 см завдовжки для листків тютюну або китайської капусти), мозаїка не виникає [4]. В цьому разі спостерігається загальне збліднення забарвлення листка. Зазвичай разом з мо-

заїчними симптомами спостерігається зміна кольору або знебарвлення пелюсток. Змінені ділянки можуть мати вигляд смуг, плям або секторів. Зміни кольору пелюсток часто є наслідком втрати антоціанів. Такі симптоми є надійним показником того, що рослина інфікована вірусом. Плоди інфікованих рослин можуть проявляти плямистість або бути значно деформованими, наприклад, огірки, інфіковані вірусом огіркової мозаїки. Як наслідок вірусної інфекції можуть виникати жовтухи. Віруси, що викликають генералізоване пожовтіння листків, не такі численні, як ті, що викликають мозаїки, але деякі, такі, як вірус жовтухи цукрових буряків, мають велике економічне значення. Загибель тканин, органів або цілої рослини спостерігається при деяких вірусних хворобах. Некрози можуть розвиватися навколо жилок, по яких рухається вірус. При багатьох хворобах внаслідок цього гине цілий листок. Некроз може досить швидко розповсюджуватися по рослині. Крім того, що інфіковані вірусом рослини менші за розміром, ніж нормальні, у них може виникати широкий спектр аномальний розвитку. Ці зміни можуть бути головними симптомами хвороби або можуть супроводжувати інші прояви інфекції. Наприклад, нерівномірний ріст листової пластинки часто спостерігається при мозаїчних хворобах. Темно-зелені ділянки листка можуть розростатись, у результаті чого краї листка стають нерівними та покрученими. Гістологічні зміни, що виникають у чутливих до вірусу рослинах, поділяють на три головних типи:

- некроз, або загибель клітин, тканин, органів (штам N X вірусу картоплі може викликати загибель клітин флоєми);
- гіпоплазія (пригнічення росту та диференціації; наприклад, клітини мезофілу в жовтих зонах при листовій мозаїці часто менш диференційовані, ніж нормальні);
- гіперплазія (навіть повністю диференційовані клітини можуть ділитися, або виникає аномальний поділ у камбіальній тканині) [16].

Багато факторів впливають на зміну біохімічних та фізіологічних процесів у інфікованій вірусом рослині. Серед цих факторів: тип вірусу та рослини; тип тканини; вік тканини; час після інокуляції; добові та сезонні зміни; відмінності між окремими листками, особливо, між листками, ураженими мозаїчними хворобами. Але незважаючи на те, що було проведено багато досліджень з вивчення впливу вірусної інфекції на

## РОЗДІЛ 9. ВІРУСНІ ІНФЕКЦІЇ В АГРОЦЕНОЗАХ УКРАЇНИ

метаболичні процеси, досить складно узагальнити результати або пов'язати зміни в головних біохімічних шляхах з процесами реплікації вірусу (рис.2).



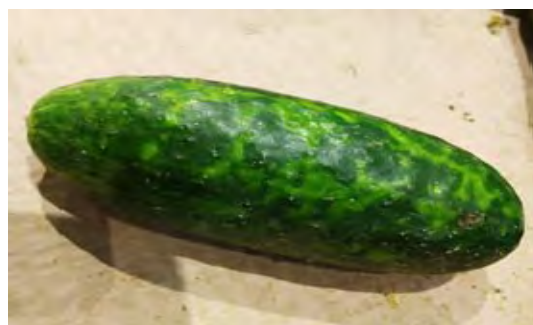
Вірус жовтої карликовості ячменю (*Barley yellow dwarf virus*) на пшениці озимій



Вірус мозаїки томату (*Tomato mosaic virus*) на томатах



Вірус жовтої мозаїки цукіні (*Zucchini yellow mosaic virus*) на кабачках



Вірус огіркової мозаїки (*Cucumber mosaic virus*) на огірках



Вірус мозаїки турнепсу (*Turnip mosaic virus*) на капусті



Вірус слабкої крапчастості перцю (*Pepper mild mottle virus*) на перці

**Рис. 2. Симптоми вірусних хвороб на сільськогосподарських культурах**

Джерело: [15].



## РОЗДІЛ 9. ВІРУСНІ ІНФЕКЦІЇ В АГРОЦЕНОЗАХ УКРАЇНИ

---

Найчастіше в інфікованих вірусом рослинах спостерігають такі біохімічні та фізіологічні зміни: зменшення інтенсивності фотосинтезу, часто пов'язане зі зменшенням кількості фотосинтетичних пігментів, хлоропластних рибосом та підвищення інтенсивності дихання; підвищення активності деяких ферментів, особливо, поліфенолоксидаз; зниження чи підвищення активності ростових регуляторів рослин. При багатьох вірусних хворобах загальні метаболічні зміни прискорюють процеси старіння рослини. Метаболічні зміни, викликані вірусною інфекцією, часто неспецифічні. Схожі зміни можуть виникати при хворобах, викликаних клітинними патогенами або механічним чи хімічним пошкодженням [17].

Розрізняють чотири основні типи реакцій рослин на ураження їх вірусом:

- імунність – коли рослини не уражуються вірусом (синонім – стійкість);

- надчутливість – коли рослини уражуються з утворенням місцевих некрозів, які з'являються внаслідок відмирання клітин біля точки зараження;

- толерантність – коли вірус транспортується по тканинах рослини, але симптоми захворювання слабо виражені або не виражені зовсім (замасковані);

- системне ураження – коли вірус транспортується по всіх тканинах рослини і репродукується з чітким проявом симптомів захворювання. Вірусне ураження рослини може проявлятися як системно, так і локально.

Загальна характеристика вірусів рослин, що поширені на території України. Серед вірусів, що викликають значні втрати врожаю сільськогосподарських культур, найбільш поширеними є віруси, що належать до роду *Tobamovirus*, роду *Cucumovirus*, родини *Bromoviridae*, родини *Potyviridae*, роду *Potyvirus*, роду *Polerovirus* родини *Luteoviridae*, роду *Tospovirus* родини *Bunyaviridae* та інші [21].

Х-вірус картоплі (ХВК) є представником родини *Potyviridae*, роду *Potyvirus*. За морфологією гнучкі палички довжиною 515 нм діаметром 13 нм. Нуклеїнова кислота (НК) представлена однією молекулою лінійної одноланцюговою +РНК. Вірус має один капсидний білок з молекулярною масою 18-23 кДа. Ліпідів і вуглеводів немає. Викликає симптоми на рослинах у вигляді некрозів верхівки, крапчасту мозаїку, може накопичуватися безсимптомно. Переносники невідомі. Легко

передається при механічному контакті рослин, посадковим матеріалом. Відомо п'ять найпоширеніших штамів. Уражує рослини: картоплі, перцю, томатів, бур'як звичайний, дурман, конюшину, льон, кропиву, петунії. Зниження врожайності призводить на 5-57%, при цьому знижує вміст крохмалю в картоплі 1,6% [8].

У-вірус картоплі (УВК) є представником родини *Potyviridae*, роду *Potyvirus*. Віріони ниткоподібної форми довжиною 680-750 нм, діаметром 11 нм. Нуклеїнова кислота представлена одноланцюговою +РНК. Молекулярна маса білку оболонки 34000 Д. Відомо 4 штами даного вірусу. Передається механічно, щепленням та попелицями неперсистентно. Симптоми на рослинах проявляються у вигляді просвітлення жилок, некрозів, зморшкуватість листкових пластинок. Насінням передається лише 3-5%. Втрати врожаю залежить від штамового складу вірусу та сортових особливостей картоплі і становить 3,8-80%. Вірус інфікує рослини картоплі, томатів, тютюну, стручковий перець [19].

Вірус огіркової мозаїки (ВОМ) належить до роду *Cuscutovirus* родини *Bromoviridae*. ВОМ знайдений у різних частинах світу і має велику кількість штамів. Віріон складається з 180 субодиниць, має ікосаедричний тип симетрії. Діаметр вірусної частки становить 29 нм. Генوم ВОМ представлений одноланцюговою, + РНК, включає три РНК сегменти.

ВОМ переноситься неперсистентно за допомогою 75 видів попелиць, а також рослинами-паразитами, наприклад повитицею (*Cuscuta sp.*), за допомогою насіння й механічно. ВОМ не здатний зберігатись у ґрунті та рослинних рештках. Вірус може перебувати у організмі тлі від декількох хвилин до годин після поїдання заражених рослин. ВОМ може уражувати широкий спектр рослин, які є представниками близько 500 родів. Серед них є важливі овочеві й декоративні культури [22].

Вірус тютюнової мозаїки ВТМ належить до роду *Tobamovirus*. ВТМ є унікальним у багатьох відношеннях. Він був першим з відкритих вірусів, першим його було виділено в чистому вигляді і кристалізовано, на ньому вперше було відкрито існування субодиниць і показано, що інфекційність вірусу пов'язана тільки з нуклеїновою кислотою. Зрештою саме ВТМ вперше розділено на білок та інфекційну РНК і знову ж відтворено вірус із цих же компонентів. ВТМ є першим віру-

сом, в якому розшифровано послідовність амінокислотних залишків у пептидному ланцюзі білкової молекули. За сучасними даними, ВТМ має форму порожнього циліндра діаметром 15 нм і завдовжки 300 нм. Віріон ВТМ містить одноланцюгову (+) РНК, його капсид складається з однакових, спіральних розміщених білкових субодиниць [9].

ВТМ має широкий діапазон рослин-господарів, серед 199 представників 30 родин. Експериментальні рослини-господарі: *Nicotiana tabacum* cvs. *Turkish*, *Turkish Samsun*, *Samsun (Samsoun)*, *White Burley*, *Burley and Xanthi*, *Chenopodium amaranticolor*, *C. quinoa*, *Phaseolus vulgaris*. Експериментальні нечутливі рослини: *Allium porrum*, *Chenopodium amaranticolor*, *Chenopodium quinoa*, *Nicotiana clevelandii*, *Nicotiana megalosiphon*. Передача вірусу відбувається за допомогою вектора (*Myzus ascalonicus*) неперсистентна. Симптомами на рослинах є скрученість та карликовість листя та рослини в цілому, мозаїчне забарвлення листків.

Вірус реплікується у цитоплазмі, індукуючи характерні віроплазми. ВТМ знаходиться в усіх частинах хворої рослини. В цитоплазмі клітин спостерігаються кристалічні включення у вигляді голок та волокон, що являють собою скупчення вірусних часточок. Також, наявні аморфні “Х-тіля” [6].

Вірус мозаїки кавуна 2 (ВМК-2) відносять до роду *Potyvirus*, з родини *Potyviridae*. Віріони ниткоподібні, гнучкі, розміром 730-765 нм, містять 5% нуклеїнової кислоти. Геном представлений одноланцюговою лінійною молекулою (+) РНК. Містить один структурний білок розміром 34000 Da, та 7 неструктурних білків. Містить протеазу, полімеразу, білок оболонки та формує циліндричні включення. Передача відбувається за допомогою комах-векторів: *Myzus persicae*, *Aphis craccivora*; щонайменш, 29 видів попелиць здатні передавати вірус мозаїки кавуна 2. Вірус передається механічним щепленням і не передається насінням. ВМК-2 поширений по всьому світу, особливо у помірних регіонах. Коло його хазяїв ширше, ніж у більшості збудників з родини *Potyviridae*: експериментально доведено, що він здатен вражати 170 видів рослин, що належать до 27 родин [3]. До цього переліку входять овочі з родини *Cucurbitaceae*, горох посівний, ваніль плосколиста та інші культурні рослини. У зв'язку зі значно ширшим, ніж у більшості представників своєї родини колом хазяїв, ВМК-2 спричиняє досить широкий спектр симптомів у інфікованих рослин. Най-

більш характерними симптомами інфекції у рослин роду *Cucurbita* є хлороз тканини листка, його деформація, карликовість. На огірку інфекція проявляється у вигляді яскравої мозаїки, на кавуні – у вигляді мозаїки, нитковидності листя та строкатості забарвлення плоду. Для профілактики захворювань, спричинених ВМК-2, необхідно виводити стійкі сорти, перевіряти насіння на наявність патогенів, вчасно знищувати бур'яни, можна також застосовувати інсектициди проти комах-переносників [16].

Вірус зеленої крапчастої мозаїки огірків (ВЗКМО) належить до роду *Tobamovirus*. Вірус простий, без зовнішньої оболонки. Нуклеокапсид спірального типу розміром 280x15 нм. Віріон містить одну молекулу ондонитчатої +РНК [2].

При обстеженні рослини огірка, ураженого ВЗКМО, віріони було знайдено у листках, мезофілі, епідермісі, васкулярній паренхімі, ксилемі, флоемі, клітинах-супутниках, цитоплазмі і клітинних вакуолях.

В інфікованих клітинах часто можна спостерігати вклучення, які являють собою гексагональні кристали, розміщені в цитоплазмі.

Першоджерелом інфекції є насінневий матеріал. Вірус міститься на верхній частині плівки насіння. Передача ВЗКМО через ґрунт відбувається з ґрунтовим розчином. Небезпечним для огірків є не рослинні рештки, а вільний вірус, який переходить у ґрунтовий розчин при розкладанні їх. ВЗКМО передається також механічним шляхом, через контакт листків. Було показано передачу ВЗКМО за допомогою повитиці [8].

Вірус мозаїки томатів (ВМТо) належить до роду *Tobamovirus*. Віріони мають форму паличок 300 нм довжиною, 18 нм шириною. Вірус простий, містить 5% нуклеїнової кислоти, 95% білку, 0% ліпідів. Геном представлений одноланцюговою лінійною РНК. Нуклеїнова кислота вірусу кодує 4 білки, серед яких 3 – ферменти, а один – білок оболонки.

Цитопаталогія: вірусні частки збираються і розсіяно накопичуються в цитоплазмі. Вірусні частки присутні також в ядрі і в вакуолях, утворюючи кристали та аморфні “Х-тільца” [18].

ВМТо має широке різноманіття господарів, він був виявлений в рослинах, ґрунті, воді. Через свою стабільність і поширеність у навколишньому середовищі, було припущено, що вірус міг зберігатися ще у стародавніх льодовиках. Даний вірус

має широкий діапазон рослин-господарів. Експериментальні рослини-господарі: *Capsicum annuum*, *Petunia x hybrida* с, *Nicotiana tabacum*, *Solanum giganteum*. Експериментальні нечутливі рослини: *Cucumis sativus*, *Cyphomandra betacea*, *Phaseolus vulgaris*. Передача за допомогою векторів невідома. Легко передається експериментально, інокуляцією соку, механічним контактом між рослинами, насінням [20]. ВМТо також уражує перець, баклажани, тютюн, та багато інших рослин. Уражуючи рослини перцю, вірус викликає численні симптоми, які можна розділити на три групи: зміни форми і поверхні листкової пластинки, порушення росту і розвитку рослин. Здуття листків має вигляд опуклості на зовнішній поверхні листкових пластинок, які проявляються на початкових стадіях росту справжніх листків, вони мають множинний характер, бувають округлої, овальної та витягнутої форми. Вкорочення міжвузля, стрічковидність листка та редукція верхівки спостерігається з другої-третьої пари листків. Листок при цьому приймає округлу форму, на поверхні, поблизу верхівкової частини, спостерігаються здуття та заглиблення листкової пластинки, темно-зелена плямистість, просвітлення жилок [9].

Вірус слабкої крапчастості перцю (ВСКП) належить до роду *Tobamovirus*. ВСКП є простим вірусом. Капсид спіральної симетрії довжиною 312 нм і шириною 18 нм, 4 нм в діаметрі. Геном не сегментований і містить лінійну одноланцюгову молекулу (+) РНК, кодує структурні і неструктурні білки, складається з 6357 нуклеотидів і містить чотири відкриті рамки зчитування. Це перший з тобамовірусів, у якому жодна з рамок зчитування не перекривається. Віріони у своєму складі мають один структурний білок. Ліпіди відсутні. Реплікація вірусу відбувається у цитоплазмі. Фізико-хімічні і фізичні властивості: ізоелектрична точка знаходиться в межах рН 3.3-3.7. Температура інактивації 95°C. Життєздатність вірусу *in vitro* більше ніж 30 днів. Інфекційність вірусу не змінюється навіть при обробці ефіром. Цитопаталогія: в цитоплазмі інфікованих клітин спостерігаються кристалічні включення. Вірус може бути виявлений у мезофілі листка, флоемі [15]. В основному віріони локалізуються в цитоплазмі. ВСКП уражує рослини родини лободових, губоцвітих, пасльонових. Поява вірусу м'якої плямистості на рослинах *Capsicum* вперше стало звичним у Бразилії. Уражуючи рослини перцю, вірус викликає численні симптоми: жовто-зелена мозаїка, затримка в рості, особливо якщо росли-

ни інфіковані у молодому віці. Плоди дрібні, строкаті і деякі з них мають некротичні пошкодження. Передача вірусу за допомогою вектору не зафіксована. Саджанці можуть бути заражені механічною інокуляцією, насінням, вірус не передається пилком. Припускають, що людина може виступати в якості «транспортного засобу» для поширення вірусу м'якої плямистості перцю завдяки тому, що вірус зберігає свою інфекційність навіть після перебування у шлунково-кишковому тракті [4].

Вірус штрихуватої мозаїки ячменю (ВШМЯ) належить до *Hordeivirus*. За морфологією вірус переважає собою жорсткі палички довжиною 112-150 нм та 18-24 нм в діаметрі. Віріони містять лінійну РНК (+ ланцюг). Капсидний білок з молекулярною масою 21500 Дан. У колосі інфікованих рослинах формується щупле зерно. Схожість насіння ураженого вірусом знижується на 10–11%. Шкідливість хвороби полягає у зниженні висоти хворих рослин на 40–50%, затримці розвитку рослин. Вірус передається насінням, пилком. У насінні ячменю може зберігатися протягом багатьох років. Окрім того, він уражує пшеницю, кукурудзу, просо, овес, деякі злакові трави з родини тонконогих і злакові бур'яни. Під час висіву зараженого насіння у ґрунт формуються низкорослі рослини, значна частина їх гине ще до виходу на поверхню [12]. Симптоми хвороби варіюють залежно від сорту, погодних умов і штаму вірусу. У фазі сходів-кущення хвороба проявляється здебільшого на листках середнього ярусу, інколи і на верхніх у вигляді світло-зелених або жовтуватих і білих переривчастих, суцільних поздовжніх смуг або плям, що розташовуються вздовж жилок. У фазі колосіння-цвітіння ці штрихи стають коричневими. Некротичні темно-коричневі штрихи чергуються із темно-червоними (кров'яними) плямами, навколо них виявляється незначна хлорозна облямівка. Часто мозаїчний малюнок складається із зигзагоподібних некротичних смуг, що нагадує пряму або перевернуту латинську букву V. Під час раннього і сильного ураження інфіковані рослини відстають у рості й формують деформований колос. Вірус уражує пшеницю, кукурудзу, просо, овес, деякі злакові трави з родини тонконогих і злакові бур'яни. Захворювання ячменю на штрихувату мозаїку зменшує урожай зерна на 16-27% [8].

Вірус жовтої карликовості ячменю (ВЖКЯ) зустрічається у зернових колосових, кукурудзи та багатьох злакових культур. На практиці недобір врожаю зерна пшениці та ячменю від цієї

## РОЗДІЛ 9. ВІРУСНІ ІНФЕКЦІЇ В АГРОЦЕНОЗАХ УКРАЇНИ

---

хвороби може досягати 30-40%. Хвороба переноситься попелицями, які протягом усього життя є переносником вірусних хвороб. Джерелом інфекції вважають злакові трави, що ростуть на кордонах польових угідь, які служать одночасно і постійним сховищем для вірусів. Навесні спостерігається пожовтіння і відмирання листя. Рослини відстають у рості, слабо кущаться. Затяжна холодна весна і ранні весняні відлиги сприяють розвитку хвороби. Уражаються основні зернові культури – пшениця, ячмінь, овес, а також злакові трави. Вірус передається не менше 23 видами попелиць. Зберігається в зимуючих рослинах [10].

Вірус смугастої мозаїки пшениці (ВСПП) належить до родини *Potyviridae*, рід *Rymovirus*. За морфологією – ниткоподібні частки довжиною 700 нм, діаметром 11-15 нм. Нуклеїнова кислота представлена одноланцюговою (+) РНК, віріони містять один капсидний білок з молекулярною масою 47000 Да. Вірус уражує овес, ячмінь, просо, жито, пшеницю та кукурудзу. Передається кліщами (переважно німфами кліщів) (*Aceria tulipae*, *Aceria tritici*), контактним шляхом та насінням. Поширений по всій території України, а також Європі, США, Канаді. Втрати врожаю становлять 15-20%.

Вірус мозаїки яблуні (ВМЯ) відноситься до родина *Bromoviridae* роду *Parvivirus* належить велика кількість вірусів рослин, які в основному уражують деревних господарів. Віріони вірусу являють собою ізометричні частки діаметром 25-29 нм, без суперкапсидної оболонки. Генوم мультипартидний, складається з 4х сегментів РНК: РНК-1 (3476 н.), РНК-2 (2979 н.), РНК-3 (2056 н.), РНК4 (891 н.) [3].

Рослини хазяїва: карантус рожевий (*Catharanthus roseus*), огірок (*Cucumis sativus*), квасоля (*Phaseolus vulgaris*) (only certain isolates), вігна (*Vigna unguiculata*) (тільки деякі ізоляти).

Симптоми на більшості сортів проявляються на листках у вигляді яскраво-жовтих плям, смуг уздовж жилок. Характерними є світло-жовті плями, кільця, добре помітні при яскравому світлі. На деяких сортах збудник захворювання тривалий час (2-3 роки) може знаходитися в латентній формі. Проявляються симптоми мозаїки відразу після появи листя. Найбільш чітко прояв симптомів відмічається в травні червні, а з настанням спекотних днів симптоми маскуються. Ознаки, які проявляються при ураженні вірусами, можна переплутати з симптомами, які проявляються при дії токсичних речовин (ге-

рбіциди, ростові речовини) або нестачі деяких мікроелементів (цинк, бор, залізо). Тому через подібність симптомів, які виникають з різних причин, при візуальному дослідженні не завжди вдасться одержати об'єктивну оцінку стану дерев. Головною проблемою при візуальній діагностиці є латентність – рослини можуть бути ураженими і не проявляти симптоматику.

Передача вірусу відбувається лише за допомогою механічної інокуляції та в результаті щеплення. Передача вірусу при щепленні призводить до зараження пропaгaтивного матеріалу, що і є головною причиною поширення вірусної інфекції. Вірус мозаїки яблуні не передається пилком та векторами. Є дані щодо передачі вірусу насінням лише серед лісного горіху [19].

Вірус шарки сливи (ВШС) відноситься до родини *Potyviriidae*, роду *Potyvirus*. Нуклеїнова кислота вірусу представлена лінійною одноланцюговою РНК. Відомо шість штамів цього вірусу: PPV-D, PPV-M, PPV-EA, PPV-C, PPV-Rec (рекомбінантний).

На плодах сприйнятливих до хвороби сортів спочатку проявляються характерні візерунки, які складаються з кільцеподібних темно-зелених смуг і плям. На різних породах і сортах симптоми захворювання значно варіюють, а за певних умов можуть зовсім не проявлятися. Уражені плоди набувають вродливої форми, передчасно достигають і опадають. Шкодочинність хвороби виражається в ослабленні і нерідко загибелі дерев, втраті товарної якості плодів (плоди стають дрібними, гіркими або без смаку). Вірус передається садивним матеріалом та прищепами, а також попелицями. Втрати залежно від кліматичних умов, сорту рослин та штаму вірусу складають від 5 до 100%. *Це карантинний вірус.*

Вірус жовтої мозаїки квасолі (ВЖМК) належить до родини *Potyviriidae*, роду *Potyvirus*. Віріони ниткоподібні, довжина яких становить приблизно 750 нм. НК представлена одноланцюговою +РНК.

Симптоми проявляються у вигляді деформації листкової пластинки та жовтої мозаїки. Уражене листя робиться крихким, поступово жовтіє або на ньому утворюється некрози. Хворі рослини затримуються у рості і набувають куцистої форми. Збудник вірус жовтої мозаїки квасолі має різні штамми, що зумовлює різні форми прояву хвороби. Вірус ниткоподібний, передається попелицями та інокуляцією соку. З насінням не розповсюджується, хоч є дані щодо можливості його пере-



дачі з насінням люпину. Вірус жовтої мозаїки квасолі уражує майже всі бобові культури. Шкідливість проявляється у затриманні росту і зменшенні продуктивності рослин. Вірус передається різними видами попелиць та механічно [8].

Вірус мозаїки сої (ВМС) належить до родини *Potyviriidae*, роду *Potyvirus*. Нуклеїнова кислота вірусу представлена одноланцюговою +РНК. Віріони ниткоподібної форми. Симптоми ВМС різняться залежно від різновиду, штаму вірусу, середовища та віку рослини при зараженні. Більшість сортів будуть низькорослими і матимуть менше стручків. Трійчасте листя матиме мозаїку із світло-темних та темно-зелених ділянок, які з часом можуть утворитися пухирями. Листя можуть виглядати спотвореними, як правило, з полями, що згортаються вниз.

Вірус передається попелицями, а також насінням. Вірус залишається життєздатним у насінні принаймні впродовж років. Наразі відомо понад 30 видів рослин, чутливих до вірусу, серед яких квасоля горох люпин та різні види лободи. Втрати врожаю внаслідок ВМС зазвичай становлять від 38 % до 65 % [5].

Віроїди. У природі, крім вірусів, виявлено й інші, дуже дрібні загадкові інфекційні агенти з незвичайними властивостями. До них належать віроїди і пріони. Віроїди – інфекційні агенти, які побудовані з низькомолекулярної однострижкової кільцевої РНК, що не кодує власних білків, і спричиняють інфекційні захворювання в рослин.

Особливістю віроїдів є те що вони реплікуються автономно в клітинах рослин, поширюються системно і породжують симптоми захворювань, подібні до тих, які спричиняють фітопатогенні віруси. Однак, на відміну від вірусів, віроїди мають простішу будову. Для розмноження вони використовують ферментативний апарат клітини-хазайна.

Перші віроїди – віроїди веретеноподібності бульб картоплі – відкрито у 1967 р [6].

Веретеноподібність бульб картоплі вперше описав у США В. Мартін у 1922 р. Уражені рослини відстають у рості і їхні листки менші, ніж звичайні. Бульби рослин видовжені, вузькі, гладенькі, з більшою кількістю вічок. Хвороба легко передається внаслідок контакту хворих рослин зі здоровими, через контаміновані інструменти для культивування, а також через насіння і пилок. Протягом 40 років вважали, що збудником цього захворювання є віруси. Однак в 60-70 –х рр. ХХ ст. експери-

ментально з'ясовано, що інфекційний агент, який спричиняє веретеноподібність бульб картоплі, має низький коефіцієнт седиментації, чутливий до рибонуклеази і нечутливий до дезоксирибонуклеази, фенолу, хлороформу, н-бутанолу і етанолу. На підставі цих ознак зроблено висновок, що інфекційний агент, названий PSTVd, є короткою вільною молекулою РНК. На основі фізико-хімічних характеристик цього патогенна для позначення інфекційного агента з метою диференціації малих РНК від інкапсидованого геному вірусів Т. Дінер запропонував використовувати термін *віроїд*. Нині виділено віроїди, які спричиняють захворювання багатьох економічно важливих культурних рослин, зокрема, картоплі, томатів, хмелю, кокосів, винограду, цитрусових, авокадо, персика, яблуні, груші, хризантем, колеусу тощо [22].

Сучасна діагностика інфекційних хвороб, попри свої традиційні риси, характеризується безперервним удосконаленням уже відомих прийомів і методів їхнього розпізнання та пошуком нових, ефективніших, у тому числі швидких (експресних). Необхідність подальшої розробки методів діагностики інфекційних хвороб зумовлена рядом причин. Насамперед, з плином часу помітно змінюється патогенез і клінічна картина інфекційних хвороб. Відзначається тенденція до збільшення кількості як стертих, так і тяжких, а також атипових форм інфекційних хвороб із затяжним перебігом. Збільшується кількість змішаних захворювань, спричинених одночасно декількома видами бактерій, вірусів, найпростіших чи грибів. Виявлено нові, раніше невідомі інфекційні хвороби, такі як віроїди, пріонові хвороби [19].

Для діагностики вірусних інфекцій нині використовують наступні методи: візуальну діагностику, біологічне тестування, електрону мікроскопію, серологічні методи, імуноферментний аналіз, полімеразна ланцюгова реакцію, сиквенування ділянок нуклеїнових кислот та філогенетичний аналіз.

Візуальна діагностика. Метод виявлення та відбору рослинного матеріалу за зовнішніми симптомами є найпростішим і найпоширенішим методом. Він заснований на здатності багатьох вірусів викликати на рослинах характерні симптоми ураження, які проявляються у вигляді смуг на листових пластинках, їх деформацій, вкорочення стебел та пагонів, зміні забарвлення листя, появі некротичних плям на листках, на плодах деформація шкірки плоду та мозаїка. Для ідентифіка-

ції вірусів за візуальним симптомами використовують так звані рослини-індикатори. Рослини-індикатори – це рослини, які дають чітку специфічну реакцію на певний вірус, що легко відрізняється від реакції цієї рослини на інший вірус. За допомогою рослин-індикаторів можна розв'язати такі завдання:

- визначити інфекційну природу збудника;
- визначити коло рослин-хазяїв;
- виокремити вірус із суміші при змішаних вірусних інфекціях;
- визначити концентрацію вірусів у рослинах;
- накопичити вірус з метою подальших фізико-хімічних досліджень;
- встановити видову належність патогена.

Як індикатори в фітовірусології найчастіше використовують рослини таких родин:

Пасльонові (*Solanaceae*) – *Nicotiana tabacum*, *N. clevelandii*, *N. glutinosa*, *N. debneyi*, *Petunia hybrida*, *Lycopersicon esculentum*, *Datura stramonium*, *Physalis floredana*.

Лободові (*Chenopodiaceae*) – *Chenopodium amaranticolor*, *Ch. quinoa*.

Бобові (*Fabaceae*) – *Phaseolus vulgaris*, *Vicia faba*, *Vigna sinensis*, *Melilotus officinalis*.

Гарбузові (*Cucurbiaceae*) – *Cucurbita maxima*, *Cucumis sativus*.

Успіх застосування методу рослин-індикаторів залежить як від вірусного препарату (його стабільності, концентрації, наявності інгібуючих речовин в інокуляті), так і від рослини – її віку та сприйнятливості.

Виявлення вірусів за допомогою електронної мікроскопії (ЕМ) базується на ідентифікації вірусів за їхньою характерною морфологією. Головна перевага діагностики за допомогою ЕМ – можливість візуалізувати вірус. Можна ідентифікувати вірус безпосередньо, без попереднього вивчення вірусного агента. Інша перевага методу ЕМ – це швидкість діагностики, коли препарат може бути розглянутий протягом декількох хвилин після його приготування з вірусомісної рідини. Є і головний недолік – неможливість дослідити одночасно багато матеріалу [20].

Серологічна діагностика може використовуватися для визначення як досліджуваних вірусів, так і антитіл до них. Вона відіграє роль у визначенні етіології (природи) вірусної

інфекції навіть при негативних результатах виділення вірусу. Усі серологічні реакції базуються на специфічній взаємодії антигена з антитілом. Антиген – речовина, зазвичай органічного походження, що має ознаки генетичної відмінності і при введенні в організм викликає специфічний імунний ефект [1].

Антитіла – білки, що циркулюють в імунних сироватках, тому сироватка завжди є компонентом серологічних реакцій (lat. serum – сироватка, звідси походить назва реакцій – серологічні). Антитіла (АТ) отримують за кілька етапів:

- 1) приготування високоочищеного концентрованого антигену (вірусу);
- 2) імунізація лабораторних тварин;
- 3) тестування отриманої антисироватки.

Антисироватки характеризуються трьома важливими властивостями:

1. Авідність – характеристика міцності зв'язку між АГ та АТ.

2. Специфічність – ступінь здатності антитіла відрізнити імуноген від споріднених антигенів, вона забезпечує вибірковість специфічного та хімічного впізнавання.

3. Титр – кінцеве розведення антисироватки, яке забезпечує оптимальну взаємодію з АГ. Титр залежить від концентрації в імунній сироватці антитіл.

Імуноферментний аналіз (ІФА). Початком використання імуноферментних методик у вірусологічних дослідженнях вважають появу перших повідомлень про можливість приєднання ферментів до білків, в тому числі і до імуноглобулінів. В основі цього методу лежать принципи, застосовувані раніше у радіоімунному аналізі (RIA), де використовували радіоактивні мітки. В ІФА замість радіоактивної використовують ферментну мітку.

Перевагою ІФА є простота та експресність аналізу, можливість автоматизації процесу, висока специфічність і чутливість ( $10^{-10}$  –  $10^{-12}$  г/мл), можливість візуальної оцінки та інші. Методи ІФА поділяють на дві великі групи: твердофазний і гомогенний аналіз. Існує декілька модифікацій імуноферментного аналізу: прямий ІФА, непрямий ІФА, сендвіч-метод, послідовний або неконкурентний та конкурентний аналіз.

Молекулярно-біологічні методи є надзвичайно чутливими і високоспецифічними. Найчастіше застосовують полімеразну ланцюгову реакцію (ПЛР), яка полягає в тому, що в

досліджуваному матеріалі шукають генетичний матеріал збудника – нуклеїнові кислоти: ДНК чи РНК це дає змогу не лише констатувати наявність збудника в мізерній кількості, але й встановити його концентрацію [5].

Філогенетичний аналіз. Області філогенетики і популяційної генетики пропонують широкий спектр інструментів для складного аналізу даних послідовностей вірусів рослин. Однією з сучасних програм, які використовуються для філогенетичного аналізу є MEGA5 (Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 5).

Порівняльний аналіз даних нуклеотидних та амінокислотних послідовностей має важливе значення для реконструкції еволюційної історії видів і виведення характеру і ступеню селективних сил, що визначають еволюцію генів і видів. MEGA (Молекулярний Еволюційний Генетичний Аналіз) – це програмне забезпечення, яке було розроблене з метою забезпечення біологів інтегрованим набором інструментів для статистичного аналізу даних ДНК і білкових послідовностей з еволюційної точки зору.

Секвенування ДНК (від англ. "Sequence" – послідовність) – визначення послідовності нуклеотидів у ланцюгу ДНК. Використовується для розшифровки генів і занесення цієї інформації до банку даних та її подальшої інтерпретації методами біоінформатик. Для секвенування ДНК застосовуються методи Едмана, Сенгера та ін. Нині для секвенування нуклеїнових кислот застосовують метод Сенгера з дидезоксинуклеозидтрифосфатами (ddNTP) [23].

Згідно методикам до початку секвенування з використанням полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР) виконують ампліфікацію (збільшення числа копій) досліджуваної ділянки ДНК, послідовність якої потрібно визначити. Крім ампліфікації ДНК, ПЛР дозволяє проводити безліч інших маніпуляцій з нуклеїновими кислотами: введення мутацій, зрощення фрагментів ДНК тощо. Метод широко використовується в біологічній і медичній практиці, наприклад, для діагностики спадкових захворювань, встановлення батьківства, клонування генів, виділення нових генів.

Нині для боротьби з вірусними хворобами рослин застосовують різноманітні біологічні, фізико-механічні, хімічні та агротехнічні методи. Їх проводять у певній послідовності і вони складають ту систему, яка дає можливість вести

## РОЗДІЛ 9. ВІРУСНІ ІНФЕКЦІЇ В АГРОЦЕНОЗАХ УКРАЇНИ

---

ефективну боротьбу з різними хворобами, зменшити шкоду від них і цим самим забезпечити значне збереження та поліпшення якості продукції. Вибір та застосування різних заходів боротьби з вірусними хворобами залежить насамперед від виду хвороби і видів рослин, на які вона поширюється.

Загальними для боротьби з вірусними хворобами рослин є такі заходи:

1) виведення і впровадження у виробництво стійких проти вірусів сортів рослин;

2) знищення комах та інших переносників вірусів;

3) ліквідація джерел поширення вірусів у природі (це передусім своєчасне луцення стерні, знищення бур'янів на полях, межах, узбіччях доріг, які є джерелом інфекції; дотримання оптимальних строків сівби і проведення противірусного прополювання насінневих посівів);

4) використання для сівби здорового безвірусного насінного матеріалу. Одним із заходів боротьби з вірусами є використання безвірусного насіння та посадкового матеріалу.

У тих випадках, коли вірус передається через насіння і є джерелом інфекції може грати важливу роль, оскільки поширення інфекції на іншій рослині починається дуже рано, тоді рослини ще зовсім молоді. Якщо ж інфіковане насіння виявилося головним чи єдиним джерелом вірусу і якщо рослину при цьому можна вирощувати в ізоляції від навколишніх резерваторів інфекції то використання насіння вільного від вірусу чи інфіковані у певній мірі, виявляється ефективним засобом боротьби.

Останніми роками серед профілактичних заходів, які запобігають зараженню рослин вірусами, поширення набуває вакцинація рослин (переважно закритого ґрунту) ослабленими штамми вірусів. Інтенсивно проводяться також роботи з оздоровлення рослин методами термотерапії (з використанням спеціальних термокамер), щоб отримати безвірусні клони, хіміотерапії, культур верхівкових меристем тощо.

Карантин рослин – правовий режим, що передбачає систему державних заходів, спрямованих на захист рослин, їх продукції переробки, сировини, окремих вантажів тощо від карантинних об'єктів, а також підкарантинних матеріалів та об'єктів. Карантин рослин здійснюється на основі Закону України «Про карантин рослин», який визначає загальні правові, організаційні та фінансово-економічні основи карантину

## РОЗДІЛ 9. ВІРУСНІ ІНФЕКЦІЇ В АГРОЦЕНОЗАХ УКРАЇНИ

---

рослин, діяльність державних органів, підприємств, установ, організацій, посадових осіб та громадян, спрямовану на запобігання завезенню та поширенню відсутніх на території України небезпечних шкідників, хвороб та бур'янів.

Основним завданням карантину рослин є охорона території країни від занесення або самостійного проникнення з-за кордону або з карантинної зони карантинних об'єктів; своєчасне виявлення, локалізація й ліквідація карантинних об'єктів, а також запобігання їх проникненню в регіони країни, де вони відсутні; здійснення державного контролю за дотриманням особливого карантинного режиму й проведення заходів із карантину рослин при вирощуванні, заготівлі, вивезенні, перевезенні, зберіганні, реалізації та використанні підкарантинних матеріалів та об'єктів. Центральним спеціально уповноваженим державним органом із карантину рослин є Головне управління Держпродспожив служби з Центральною науководослідною карантинною лабораторією і Центральним фумігаційним загonom Міністерства аграрної політики та продовольства України [24].

Фізико-механічний метод ґрунтується на використанні фізичних явищ для захисту рослин від шкідливих патогенів. Для цього використовуються джерела енергії (світло, тепло, радіоактивне випромінювання тощо).

Для обмеження поширення патогенних хвороб потрібно видаляти уражені рослини, що ростуть поміж здоровими, для запобігання інфікування їх та подальшого поширення інфекції.

Потрібно дотримуватися оптимальної глибини посівів чи посадки, адже неглибокий посів призводить до швидкого проростання насіння і завчасних сходів, завдяки чому скорочується період розвитку рослин, протягом якого вони стають доступні для ураження різними патогенами [25].

При підготовці насінневого матеріалу рослин до посіву обов'язково насіння потрібно перевірити на наявність вірусів, бактерій та мікроскопічних грибів. Якщо насіння виявилось уражене патогенами, то потрібно провести його знезараження термообробкою. Для отримання здорових рослин слід використовувати насіння двох і більше років зберігання. Крім того потрібно проводити знезараження ґрунт, адже певна кількість патогенів передається саме цим шляхом.

Застосування агротехнічного методу захисту базується на взаємовідносинах, що існують між сільськогосподарськими

рослинами, шкідниками, хворобами, бур'янами й навколишнім середовищем. Під впливом цих заходів створюються несприятливі умови для розмноження шкідливих видів і сприятливі – для росту й розвитку рослин. За надмірного насичення сівозміни однією культурою або при монокультурі підвищується шкідливість збудників хвороб. Монокультура вирощування зернових, зокрема пшениці озимої, збільшує шкідливість комплексу збудників різної природи. Чим менше насичення сівозміни однією культурою, тим більше просторова ізоляція між рослиною-живителем та джерелом інфекції, що дає змогу уникнути розвитку епіфітотій.

Одним із найбільш ефективним методом боротьби з вірусами вважають вакцинацію розсади слабопатогеними вірусними штамми. У такому разі при попаданні у рослину більш патогенного штаму вірусу між штамми відбувається інтерференція і розвиток інфекції значною мірою сповільнюється [26].

Хімічні методи боротьби. Якщо інфікування рослин відбувається на стадії вегетації, то ефективним буде обробка рослин препаратом “ФАРМАЙОД-3”. Ця речовина являє собою 0,03% розчин йоду і є активною проти таких вірусів як вірус зеленої крапчастої мозаїки огірка, вірус огіркової мозаїки та вірус тютюнової мозаїки.

Для обробки насінневих матеріалів знезараження проводять за наступною схемою: до 100 л води додати 2-3 л конц. HCl. Насіння обробляти 30 хв., двічі промити водою і висушити. Сухе насіння протягом години обробляти 10-15% розчином тринатрійфосфату, ретельно промити, одразу висівати. Але головним недоліком цього методу є те, що інактивуються лише ті віруси, що містяться на поверхні насінної шкірки, віруси, що містяться в ендоспермі зберігають свою інфекційність.

Що стосується ґрунту, на якому вирощувалися інфіковані рослини, якщо пропарювання неможливе, то його знезаражують формальдегідом. З цією метою кожний квадратний метр площі оприскують 10 л 2%-го розчину формальдегіду і оброблену поверхню накривають плівкою. У цьому разі субстрат можна використовувати для посадки не раніше ніж через 6 тижнів.

Одночасно з обробкою ґрунту має проводитись знезараження внутрішньої поверхні теплиць 2-2,5% розчином формаліну. А також знезараження інструментів 5% розчином  $KMnO_4$ .



При вирощуванні рослин гідропонним шляхом, виробничі площі можна обробляти 2% розчином формальдегіду з розрахунку 7,5 л/м<sup>2</sup>. Стіни, стелю, двері, ручки, тару необхідно дезінфікувати 1% розчином їдкого лугу, 15% N<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 5% KMnO<sub>4</sub>. Усі рослинні рештки слід негайно прибрати і спалювати. Землю і рослини для компостування треба складати на значній відстані від теплиць.

Використання сортів рослин з генетичною стійкістю до збудників. Останнім часом ця стратегія широко використовується в програмах підвищення врожайності культур – стор *improvement programs*. Вірусостійкі сорти отримують як методами класичної селекції, так і за допомогою генетичних маніпуляцій – відносно швидкого способу введення в рослини потрібних генів стійкості, що може бути особливо корисним в боротьбі з вірусними захворюваннями, які з'являються раптово. Труднощі, що виникають при створенні стійких рослин генно-інженерними методами, зазвичай обумовлені обмеженою кількістю доступних «традиційних» генетичних джерел стійкості та високою швидкістю мутації вірусних геномів, що призводить до нетривалої стійкості в польових умовах. Наразі створені та успішно культивуються рослини з трансгенною стійкістю проти вірусів рослин на основі домінантних генів стійкості – сорти томатів, стійкі до *Tomato spotted wilt virus*, *Tomato mosaic virus*, *Tomato chlorotic spot virus*, *Groundnut ringspot virus* та *Impatiens necrotic spot virus*, сорти квасолі, стійкі до *Bean common mosaic virus* і ряду інших вірусів. Ген структурного білка оболонки (БО) вірусу тютюнової мозаїки – один із перших вірусних генів, перенесених в рослини тютюну. Наразі трансгенна стійкість на основі гена БО відома для більше ніж 35 вірусів із 15 різних таксономічних груп, зокрема *tobamo-*, *potex-*, *cucumo-*, *tobra-*, *carla-*, *poty-*, *luteo-* і *alfamo-* вірусів [27].

Одним із заходів боротьби з вірусними інфекціями є зниження чисельності їхніх природних векторів. До переносників вірусів, які викликають захворювання найбільш економічно-важливих культур, належать кліщі, попелиці, цикадки, білокрилки та ґрунтові гриби. Так, кліщі роду *Aceria* (*A. tulipae*, *A. tosichella* Keifer) є основними векторами вірусів *Wheat streak mosaic* та *Wheat spot mosaic*, що доволі поширені в Україні. За допомогою переносників віруси з хворих рослин розселяються на ярі колосові, кукурудзу, багаторічні злакові трави, злакові бур'яни, пізніше – на падалицю злаків, де розмножуються.

Осередки масового розмноження кліщів на пшениці озимій доцільно обприскувати препаратами з акарицидною дією (дієвими саме проти кліщів) для локалізації поширення шкідника і запобігання ураженню рослин вірусом смугастої мозаїки пшениці. До акарицидів біологічного походження належать препарати на основі авермектинів – порівняно нового класу макроциклічних лактонів, які є продуктами біологічного синтезу. У природних та виробничих умовах вони синтезуються ґрунтовим мікроорганізмом *Streptomyces avermitilis*. Механізм дії речовин цього класу (абамектину та емамектину) на комах полягає у блокуванні передачі нервового імпульсу, що призводить до необоротного паралічу та загибелі шкідників. Торгівельні назви таких препаратів – «Abba», «Abathor», «Affirm», «Agri-Mek», «Avid», «Dynamec», «Vertimec», «Zephyr». Ці засоби застосовуються шляхом обприскування листя до появи або відразу після появи шкідників. Оскільки абамектин має трансламінарні властивості, при обприскуванні досить швидко проникає в листя. В рослині препарат стимулює виділення гамма-аміномасляної кислоти, яка у кліщів викликає нервопаралітичну дію. Препарати на основі авермектину добре переносяться рослинами, не знищують корисних комах, малорухомі в ґрунті й швидко розкладаються мікроорганізмами [28].

Іншим типом біопрепаратів з інсектицидною дією є так звані «зелені» інсектициди («green»-insecticides) – препарати на основі рослинних екстрактів. Такими інсектицидами є препарати на основі діючої речовини матину (компонента, що міститься в коренях софори). Діюча речовина препарату – глікозид матрин, який ефективно діє проти широкого спектра шкідників. В Україні інсектициди на основі матрину представлені препаратами «Біорейд» та «Натур Гард». Вони починають діяти відразу після внесення, мають чітко виражену контактнокішкову дію – викликають параліч нервової системи і загибель комах-шкідників. Крім загальних переваг, властивих всім біопрепаратам, «Біорейд» та «Натур Гард» працюють в широкому діапазоні температур і залишаються ефективними навіть за значних температурних коливань.

Основними методами біологічного контролю вірусних захворювань рослин застосування комплексу профілактичних агротехнічних засобів є: боротьба із резерваторами вірусу – бур'янами і самосійними рослинами (альтернативними хазяїнами вірусів чи їхніх векторів) на полях і прилеглих територі-

ях; дотримання рекомендованих для певної території термінів висівання культури; постійний моніторинг і санітарне видалення рослин з симптомами вірусного захворювання; використання безвірусного насінного матеріалу; боротьба з переносниками шляхом біоінсектицидних обробок насіння та рослин впродовж вегетації; застосування біологічних препаратів для індукування в рослинах механізмів неспецифічної резистентності до патогенів; застосування комплексних мікробних препаратів, що мають різнобічний вплив на розвиток і функціонування сільськогосподарських культур; створення та впровадження стійких (або толерантних) до вірусів сортів [29].

Віруси рослин є вагомим економічним чинником і спричинюють втрати 15-100% врожаю сільськогосподарських культур. Вірусні хвороби викликають зниження товарної якості продукції та її значне знецінення.

Забезпечення збалансованого розвитку та біологічної безпеки в аграрному виробництві, нарощування виробництва якісної та безпечної сільськогосподарської продукції потребує переосмислення значення вірусологічних досліджень.

Визначення зон розповсюдженості, механізмів передачі, кола рослин-господарів, реакції на зміни оточуючого середовища дають можливість не тільки більш повно характеризувати будь-якого збудника вірозів, але і прогнозувати появу та розвиток епідемій вірусних хвороб та вибудовувати стратегію і тактику боротьби з ними – запровадження стійких сортів, боротьба з резервантами та переносниками вірусів, отримання безвірусного посадкового матеріалу тощо.

Виходячи з аналізу сучасних тенденцій вірусології необхідно відмітити актуальність моніторингу вірусів культурних рослин, який обумовлений вірогідною появою нових ізолятів та вірусів, відмінністю екологічних умов та необхідністю їх систематичного опису. Моніторинг вірусів має стратегічне значення для біобезпеки держави, сталого виробництва рослинної продукції та харчування людей.

### **Література до розділу 9:**

1. Roossinck M.J. Plants, viruses and the environment: Ecology and mutualism. *Virology*. 2015. Vol. 479-480. P. 271-277.
2. Будзанівська І.Г., Шевченко Т.П., Коротеєва Г.В. та ін. Вірусологія: підручник. К.: ВПЦ "Київський університет", 2019. 351 с.

## РОЗДІЛ 9. ВІРУСНІ ІНФЕКЦІЇ В АГРОЦЕНОЗАХ УКРАЇНИ

---

3. Поліщук В.П., Будзанівська І.Г., Шевченко Т.П., Андрийчук О.М., Компанець Т.А., Кондратюк О.А., Коротєєва Г.В., Молчанець О.В., Харіна А.В., Шевченко О.В. Вірусологія: Навчальний посібник для лабораторних занять. К.: ЦП «Компринт», 2017. 242 с.
4. Інформаційно-аналітичний портал АПК України. <https://minagro.gov.ua> (дата звернення 29 листопада 2018).
5. Snihur H., Pozhylov I., Budzanivska I. et al. First report of High Plains wheat mosaic virus on different hosts in Ukraine. *Journal of Plant Pathology*. 2020. Vol. 102. P. 545 – 546.
6. Virus taxonomy. Seventh report of the International Committee on Taxonomy of Viruses / eds. Van Regenmortel M.H.V. San Diego, San Francisco, New York: Academic Press, 2000. 1162 p.
7. Державна служба статистики України. <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 29 листопада 2018).
8. Бойко А.Л. Экология вирусом растений. К.: Вища школа, 1990. 167 с.
9. Шамрай С.М., Леонтьев Д.В. Вірусологія: підручник. Х.: Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди, 2019. 244 с.
10. Bernard R. Glick and Jack J. Pasternak. *Molecular Biotechnology: principles and applications of recombinant DNA*. ASM Press, Washington. 1998. 683 p.
11. Практикум із загальної вірусології / За ред. А.Л. Бойка. К.: Видавничий центр «Київський університет», 2000. 269 с.
12. Глик Б., Пастернак Дж. Молекулярная биотехнология. Принципы и применение. М.: Мир. 2002. С. 181-204.
13. Virus taxonomy. Ninth report of the International Committee on Taxonomy of Viruses / eds. A. King et al. Wien, 2012.
14. Churchill, G.A. Fundamentals of experimental design for cDNA microarrays. *Nature Genetics*. 2002. Vol. 32. P. 490–495.
15. Цвігун В.О., Сус Н.П., Мазур С.О., Мельничук О.П., Бойко А.Л. Поширення та біологічні особливості вірусних хвороб томатів у агроценозах України. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 4. С. 82 – 89.
16. *Molecular methods for virus detection* / Ed. By Danny L. Wiedbrauk. Academic Press, 1995. 350 p.

17. Molecular biology of plant viruses/ Ed. by C.L. Mandahar. Kluwer Academic Rublisher, USA. 281 p.
18. Origin and evolution of viruses / eds. Domingo E., Webster R., Holland J. Academic Press Inc. London, 1999. 620 p.
19. Практикум із загальної вірусології / за ред. А.Л. Бойка. К.: Видавничий центр „Київський університет”, 2000. 269 с.
20. Flint S. J., Enquist L.W., Krug R.M., Racaniello V.R., Skalka A.M. Principles of Virology: Molecular biology, Pathogenesis, and Control. ASM Press, Washington. 2000. 804 p.
21. Flint S.J. Principles of Virology: in 2 vol. 4 th ed. / S.J. Flint et al. N.Y., 2015.
22. Karen-Beth G. Schoithof. Tobacco mosaic virus: A Model System for Plant Biology. *Phytopathology*. 2005. Vol. 42. №4. P. 13-22.
23. Zhang T., Breitbart M., Lee W.H., et al. RNA Viral Community in Human Feces: Prevalence of Plant Pathogenic Viruses. *PLoS Biology*. 2009. Vol. 4(4). P. 378.
24. Demangeat G. Transmission des Nepovirus par les nematodes Longidoridae. *Virologie*. 2007. Vol. № 11(4). P. 309-321.
25. Fabre F., Chadoeuf J., Costa C., Lecoq H., Desbiez C. Asymmetrical over-infection as a process of plant virus emergence. *J. Theory Biology*. 2010. Vol. 265. P. 377-388.
26. Li H., Roossinck M. Genetic bottlenecks reduce population variation in an experimental RNA virus population. *J. Virol*. 2004. Vol.78. P. 10582–10587.
27. Virus taxonomy. Eight report of the International Committee on Taxonomy of Viruses / M. Fauquet, M.A. Mayo, J. Maniloff et al. London: Academic Press, 2006. 1259 p.
28. Iztikaite I., Staniuli J., Urbanaviciene L., Zizyte M. Cucumber mosaic virus identification in pumpkin plants. *Zemdirbyste Agriculture*. 2011. Vol. 98. № 4. P. 421-426.
29. Кириченко А. Біологічні методи боротьби з вірусами рослин. *Біозахист та біопрепарати - актуальна перспектива*. 2017. С. 42-46.
30. Molecular characterization of a virus from the family Luteoviridae associated with cotton blue disease / Correa R.L., Silva T.F., Simoes-Araújo J.L. et al. *Archives of Virology*. 2005. Vol. № 150. P. 1357-1367.

---

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Безноско Ірина Володимирівна**, кандидат біологічних наук, Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України (Київ, Україна), e-mail: beznoskoirina@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2217-5165>

**Бородай Віра Віталіївна**, доктор сільськогосподарських наук, доцент, Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України (Київ, Україна), e-mail: veraboro@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8787-8646>

**Глущенко Людмила Анатолівна**, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Дослідна станція лікарських рослин Інституту агроєкології і природокористування НААН (с. Березоточа, Полтавська обл. Україна), e-mail: 1256@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2329-5537>

**Гуменюк Ірина Ігорівна**, кандидат біологічних наук, Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України (Київ, Україна), e-mail: gumenyuk.ir@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6692-0171>

**Дем'янюк Олена Сергіївна**, доктор сільськогосподарських наук, професор, Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України (Київ, Україна), e-mail: demolena@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4134-9853>

**Запталова Анна Володимирівна**, аспірантка, Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України (Київ, Україна), e-mail: zaptalova@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3221-5498>

**Карачинська Надія Василівна**, кандидат біологічних наук, Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України (Київ, Україна), e-mail: karachinskan051177@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6571-8430>

**Косовська Надія Анатоліївна**, аспірантка, Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України (Київ, Україна), e-mail: kosovska.na@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8881847X>

---

**Лішук Алла Миколаївна**, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України (Київ, Україна), e-mail: lishchuk.alla.n@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8339-9365>

**Парфенюк Алла Іванівна**, доктор біологічних наук, професор, Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України (Київ, Україна), e-mail: vereskpar@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0169-4262>

**Перейра Пауло**, доктор наук, професор, Університет Миколаса Ромеріса (Вільнюс, Литва), e-mail: pereiraub@gmail.com, paulo@mruni.eu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0227-2010>

**Симочко Людмила Юріївна**, кандидат біологічних наук, доцент, Ужгородський національний університет (Ужгород, Україна), Коїмбрський університет (Коїмбра, Португалія), e-mail: lyudmilassem@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6698-3172>

**Тертична Ольга Василівна**, доктор біологічних наук, професор, Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України (Київ, Україна), e-mail: olyater@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9514-2858>

**Цвігун Вікторія Олександрівна**, кандидат біологічних наук, Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України (Київ, Україна), e-mail: vika-natcevich@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9517-9810>

**Чоботько Григорій Михайлович**, доктор біологічних наук, професор, Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України (Київ, Україна), e-mail: chobotko@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8228-4331>

**Яковенко Дмитро Олексійович**, аспірант, Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України (Київ, Україна), керівник міжнародного департаменту БТУ-ЦЕНТР (Київ, Україна), e-mail: d.yakovenko@btu-center.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8239-7684>

МОНОГРАФІЯ

# **ЕКОЛОГІЧНА ТА БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА УКРАЇНИ**

Підписано до друку 04.04.23    Формат 60x84\16  
Ум. друк. арк. 17,7    Наклад 300 прим.    Зам. № 230178

Видавець і виготовлювач Національний університет біоресурсів  
і природокористування України,  
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 4097 від 17.06.2011