

**ЕКОТОКСИКОЛОГІЯ  
ХІМІКО-ТОКСИКОЛОГІЧНА  
ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕСТИЦИДІВ**

**ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І. І. МЕЧНИКОВА  
ФАКУЛЬТЕТ ХІМІЇ ТА ФАРМАЦІЇ  
КАФЕДРА АНАЛІТИЧНОЇ ТА ТОКСИКОЛОГІЧНОЇ ХІМІЇ

**ЕКОТОКСИКОЛОГІЯ  
ХІМІКО-ТОКСИКОЛОГІЧНА  
ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕСТИЦИДІВ**

ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до курсу «Екотоксикологія»  
для студентів факультету хімії та фармації

ОДЕСА  
ОНУ  
2023

**УДК 543.06**  
**E457**

**Укладачі:**

**Т. М. Щербакова**, кандидат хімічних наук, доцент, завідувачка кафедри аналітичної та токсикологічної хімії;

**О. М. Гузенко**, кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри аналітичної та токсикологічної хімії;

**О. М. Рахлицька**, кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри аналітичної та токсикологічної хімії.

**Рецензенти:**

**Д. В. Снігур**, кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри аналітичної та токсикологічної хімії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова;

**І. М. Радаєва**, кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри фармакології та технології ліків Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

*Рекомендовано вченою радою факультету  
хімії та фармації ОНУ імені І. І. Мечникова.  
Протокол № 8 від 12 травня 2023 р.*

**E457** **Екотоксикологія.** Хіміко-токсикологічна характеристика пестицидів [Електронний ресурс] : електрон. метод. вказівки до курсу «Екотоксикологія» для студ. ф-ту хімії та фармації / уклад. : Т. М. Щербакова, О. М. Гузенко, О. М. Рахлицька. – Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2023. – 60 с. – 1,3 МБ.

*Методичні вказівки складено відповідно до програми курсу «Екотоксикологія». Вони містять розділ «Хіміко-токсикологічна характеристика пестицидів» та контрольні питання до нього.*

*Рекомендовані для студентів природничих факультетів при підготовці до занять з навчальних дисциплін, що присвячені хіміко-токсикологічній характеристиці таких необхідних для сільського господарства і водночас токсичних речовин, як пестициди.*

**УДК 543.06**

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>1. ЗАГАЛЬНЕ ПОНЯТТЯ ПРО ПЕСТИЦИДИ</b> .....	5
1.1.Токсикологічне значення пестицидів.....	5
1.2. Класифікація пестицидів .....	6
1.3.Фізико-хімічні властивості, основні закономірності поведінки в організмі, токсична дія груп ХОС і ФОС на організм .....	31
<hr/>	
Контрольні питання до розділу 1.....	36
<b>2. МЕТОДИ ХІМІКО-ТОКСИКОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ ОБ'ЄКТІВ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ НА ХЛОРОРГАНІЧНІ І ФОСФОР-ОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ</b> .....	37
<hr/>	
Контрольні питання до розділу 2.....	47
<b>3. ХІМІКО-ТОКСИКОЛОГІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ГРУПУ АЛІЦИКЛІЧНИХ КАРБОНОВИХ КИСЛОТ</b> .....	47
3.1. Похідні циклопропанкарбонової кислоти – піретроїди	47
<hr/>	
Контрольні питання до розділу 3.....	50
<b>4. МЕТОДИ ХІМІКО-ТОКСИКОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ ОБ'ЄКТІВ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ НА ПЕСТИЦИДИ ГРУПИ МЕРКУРІЙОРГАНІЧНИХ СПОЛУК</b> .....	50
<hr/>	
Контрольні питання до розділу 4.....	52
<b>5. НЕОРГАНІЧНІ ПЕСТИЦИДИ. ФОСФІД ЦИНКУ</b> .....	53
<hr/>	
Контрольні питання до розділу 5.....	54
<b>6. ЗАБРУДНЕННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ ПЕСТИЦИДАМИ</b> .....	54
<hr/>	
Контрольні питання до розділу 6.....	58
<b>7. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	59

## ВСТУП

Упровадження інтенсивних технологій у сільському господарстві та у побуті потребує застосування великої кількості хімічних засобів, значну частину з яких становлять пестициди – препарати, які використовують для знищення шкідників сільськогосподарських рослин, контролю їх активності й поширення, боротьби із бур'янами та хворобами сільськогосподарських рослин. Нині в сільському господарстві України використовують майже 2000 видів пестицидів й агрохімікатів, а це негативно впливає на виробниче й природне довкілля та здоров'я людини. Сьогодні є тенденція інтенсивного зростання обсягів використання хімічних препаратів, річна потреба яких становить понад 35 тис. тон. Більшість пестицидів – це біологічно активні речовини, тому вони не тільки діють на об'єкти, проти яких застосовуються, а є також потенційно небезпечними для довкілля та людини. Тому ризики отруєнь, професійних захворювань, які пов'язані з використанням пестицидів й агрохімікатів у сільськогосподарському виробництві, створюють серйозну соціально-економічну проблему й залишаються надто високими. В Україні ухвалено низку законодавчих і нормативно-правових документів, які регламентують правові відносини, пов'язані із застосуванням пестицидів й агрохімікатів у сільськогосподарському виробництві. Особливо актуальними залишаються питання оцінювання ризику внаслідок дії хімічних речовин у системі «людина – умови праці» під час технологічних процесів.

В методичних вказівках «Екотоксикологія. Хіміко-токсикологічна характеристика пестицидів» докладно розглянуті загальні поняття про пестициди, методи хіміко-токсикологічного аналізу об'єктів біологічного походження на хлорорганічні і фосфорорганічні сполуки, хіміко-токсикологічне дослідження біологічних об'єктів на групу ациклічних карбонових кислот, методи хіміко-токсикологічного аналізу об'єктів біологічного походження на пестициди групи меркурій органічних сполук, неорганічні пестициди, звернена увага на забруднення продуктів харчування пестицидами.

# 1. ЗАГАЛЬНЕ ПОНЯТТЯ ПРО ПЕСТИЦИДИ

## 1.1. Токсикологічне значення пестицидів

Термін «пестициди» походить від двох латинських слів: «pestis» – зараза, чума; «cido» – вбиваю. Зазначені речовини використовуються для боротьби з різноманітними мікроорганізмами, грибами, комахами, гризунами, бур'янами тощо. Застосування пестицидів у рослинництві сприяє захисту і підвищенню врожайності сільськогосподарських культур. Без використання хімічних засобів захисту рослин від шкідників, хвороб та бур'янів неможливе отримання високого та стабільного урожаю майже всіх рослинних культур. Для його збереження велике значення має і використання регуляторів росту рослин (для запобігання поляганню різних культур, захисту від заморозків, засухи, для зниження затрат праці при збиранні урожаю). Широке застосування пестицидів у Західній Європі за останні 25 років дозволило підвищити урожайність зернових культур більше ніж удвічі. За підрахунками спеціалістів, своєчасне проведення заходів щодо захисту рослин дозволяє зберегти з кожного гектара до 2-3 ц зерна, не менше 5 ц рису. Нині асортимент засобів, які використовуються у сільському господарстві, нараховує декілька сотень сполук, які випускаються у вигляді тисяч препаративних форм. Застосування пестицидів сприяє подоланню таких захворювань, як малярія, черевний тиф, енцефаліт та ін. Токсикологічне значення пестицидів обумовлено тим, що вони діють негативно не тільки на шкідливих комах, рослини, але й чинять негативну дію також і на корисних комах, культурні рослини, домашніх тварин та людину. Побічний ефект використання пестицидів виявляється і в забрудненні довкілля, в їх участі у створенні «токсичної» ситуації, деякі накопичуються в навколишньому середовищі, маючи високу стійкість, порушують екологічну рівновагу. З хімізацією сільського господарства пов'язане виникнення хронічних інтоксикацій пестицидами. У 1939 р. швейцарський біохімік П. Мюллер синтезував один із найактивніших інсектицидів — дихлордифенілтрихлорметилметан (ДДТ). Оброблена

ним білизна зберігала інсектицидний ефект після 6-7-разового прання. Ефект обробки засіків і помешкань зберігався до 4 років. Проте поступово захоплення ДДТ стало змінюватися тривогою, препарат накопичувався у ґрунті, живих істотах, що населяють землю. ДДТ зберігається у навколишньому середовищі понад 10 років. Проник ДДТ і в організм людини. Стали з'являтися стійкі до ДДТ побутові шкідники. В усьому світі зафіксовані випадки гострих і хронічних отруєнь токсичними естерами фосфорних кислот, тобто органічними сполуками, що містять фосфор. Відзначено випадки смертельних отруєнь хлорофосом, карбофосом, трихлорметафосом, фосфамідом і багатьма іншими пестицидами. Основними причинами гострих отруєнь пестицидами можуть бути:

- неправильне зберігання;
- використання у завищених концентраціях;
- помилкове використання з метою самолікування шкірних захворювань (сверблячка, педикульоз);
- випадковий прийом всередину;
- використання з метою самогубства.

## **1.2. Класифікація пестицидів**

В основу класифікації пестицидів покладено різні критерії: призначення, характер проникнення до організму, хімічна структура, токсичність, стійкість в навколишньому середовищі.

### ***Класифікація за призначенням***

Класифікація за призначенням передбачає поєднання препаратів у групи залежно від того, для знищення яких шкідливих організмів вони використовуються. За призначенням усі пестициди поділяються на такі групи:

- інсектициди – для знищення шкідливих комах;
- акарициди – для знищення рослиноїдних кліщів;
- інсектоакарициди – для одночасного знищення шкідливих комах і рослиноїдних кліщів;

- афіциди – для знищення попелиць;
- нематоциди – для знищення фітопатогенних нематод;
- лімациди – для знищення слимаків;
- родентициди – для знищення гризунів;
- фунгіциди – для знищення збудників грибних захворювань;
- бактерициди – для знищення збудників бактеріальних хвороб;
- гербіциди – для знищення небажаної трав'яної рослинності (бур'янів);
- арборициди – для знищення небажаної деревної та чагарникової рослинності;
- альгіциди – для знищення водоростей.
- Залежно від того, на які стадії розвитку шкідників діють окремі препарати, їх поділяють на:
  - овіциди – для знищення яєць комах, кліщів та ін.;
  - ларвіциди – для знищення личинок комах.

Окрему групу становлять препарати – протруйники насіння. У сучасному асортименті фітофармакологічних засобів використовується багато біологічно активних речовин, серед яких виділяють такі групи:

- синтетичні феромони – речовини, які приваблюють самців комах;
- репеленти – речовини, запах і смак яких відлякують комах і тварин;
- стериланти – хімічні сполуки різного походження, які при потрапленні в організм комах позбавляють їх здатності до розмноження;
- гормони – речовини високої біологічної активності, які, потрапляючи в організм, регулюють його найважливіші функції (регулятори росту, розвитку і розмноження комах);
- антифіданти – речовини, які пригнічують живлення комах;
- гаметоциди – речовини, що спричиняють стерильність рослин, зокрема бур'янів, переважно чоловічого пилку, використовуються у селекції рослин.

Крім того, існує кілька груп препаратів зі специфічною дією безпосередньо на рослини:

- дефоліанти – речовини, що зумовлюють опадання листя;

- десиканти – речовини, що зумовлюють висихання рослин на корені;
- ретарданти – речовини, що стримують ріст рослин і призводять до вкорочення стебел і пагонів;
- герміциди – загальна назва хімічних сполук, що використовуються для знищення усіх видів мікроорганізмів;
- регулятори росту – хімічні сполуки, що впливають на процеси росту і розвитку рослин, комах;
- синергісти – речовини, що посилюють дію пестицидів; фуміганти – для знищення шкідників і збудників хвороб рослин у закритих приміщеннях.

За способом надходження до організму пестициди, що застосовуються проти шкідників тваринного походження, поділяють на:

- кишкові – потрапляють в організм через ротовий отвір та органи травлення;
- контактні – потрапляють в організм крізь покривні тканини;
- системні – проникають у рослини і роблять отруйними їх соки;
- фуміганти – потрапляють в організм через органи дихання.

Більшість сучасних препаратів здатні діяти на шкідників одночасно через шлунок, шкірні покриви, дихальні органи і проникати у тканини рослин, тому їх прийнято називати препаратами комплексної дії. Кишкові препарати спричинюють отруєння шкідників при надходженні в організм разом з кормом. Механізм їх токсичної дії досить складний. Спочатку вони руйнують стінки кишків, порушуючи тим самим нормальні травні функції, а потім проникають у порожнини тіла, руйнують там елементи крові, спричинюючи летальний ефект. Кишкові препарати діють лише тоді, коли потрапляють разом з їжею в травні органи шкідника. З'їдаючи оброблені ними частини рослин, шкідники отруюються і гинуть. Отже, кишкові препарати придатні лише для боротьби з шкідниками, які мають ротові органи гризучого типу та, живлячись механічно, пошкоджують рослини, ковтаючи відгризені частинки листків, стебел тощо. До таких шкідників належать різні жуки та їх личинки, гусениці метеликів, несправжні гусениці пильщиків, саранові, гризуни та ін. З практики відомо, що шкідники

гинуть тільки в тому випадку, коли в їх організм разом з кормом надходить смертельна доза препарату. Тому для рослин, які мають малу надземну вегетативну масу, особливо сходів, препарати кишкової дії не забезпечують надійного захисту. Це є найістотнішим недоліком останніх, що дуже знецінює їх з практичного погляду. Деякі кишкові препарати спочатку навіть збільшують ненажерливість шкідників, які гинуть, лише завдавши посівам значної шкоди. Отруйна дія кишкових препаратів виявляється порівняно повільно, інколи через кілька годин, здебільшого ж – через одну–три доби по тому, як препарат з їжею потрапив в органи травлення шкідника. На інтенсивність живлення шкідників значною мірою впливають погодні фактори: чим вища температура повітря, тим вища активність шкідників, тим більше вони з'їдають рослинного корму, тим вища ефективність препарату і навпаки. Обприскані кишковими препаратами рослини залишаються отруйними для шкідників залежно від препарату 10-15 діб. Після цього обприскування доводиться повторювати, якщо загроза від шкідників ще не минула. Повторні обробки проводять і після дощів, які майже повністю змивають кишкові препарати з поверхні рослин на ґрунт.

У сільському господарстві України за останні роки масштаби застосування кишкових препаратів значно скоротилися завдяки заміні їх препаратами комплексної дії, що мають не тільки більшу ефективність у боротьбі зі шкідниками, а й багато інших переваг. Контактні препарати діють на шкідників отруйно лише при безпосередньому стиканні з їх тілом. Механізм дії препаратів цієї групи може бути різним. В одних випадках, висихаючи на тілі шкідників, вони створюють газонепроникну плівку, яка порушує нормальний газообмін. В інших – вони роз'їдають і руйнують шкіру, або, проходячи крізь покриви тіла всередину його, уражують нервову систему тощо. Деяким контактним препаратам властива також кишкова або газоотруйна дія, яка, однак, має лише другорядне, допоміжне значення і помітно не впливає на їх ефективність. Контактні препарати придатні для боротьби з усіма шкідниками, що ведуть відкритий спосіб життя, і тому можуть бути безпосередньо оброблені препаратом. Проте ними кори-

стуються переважно для знищення шкідників з тонкою, слабкохітинізованою шкірою, крізь яку препарат може легко проникати всередину тіла. Це різні попелиці, цикадки, клопи, дрібні гусенички метеликів, молоді несправжні гусениці деяких пильщиків та різні дрібні жуки, а з інших членистоногих – рослиноїдні кліщі. Проти шкідників, тіло яких захищає щільний панцир (великі жуки, клопи-черепашки, колорадський жук та ін.), контактні препарати малоефективні. Більшість препаратів цієї групи не мають овіцидних властивостей. Токсична дія контактних препаратів виявляється досить швидко, здебільшого вже через кілька годин після потрапляння препарату на тіло шкідника. Токсична дія їх на рослинах, як і кишкових препаратів, виявляється протягом 10-15 діб і погодні фактори також впливають на їх біологічну ефективність. Тому, щоб одержати потрібний ефект, необхідно добре знати біологічні особливості шкідника і фізико-хімічні властивості препарату. У разі потреби обприскування рослин доводиться повторювати кілька разів. Контактні препарати для обприскування застосовуються переважно у вигляді розчинів, емульсій або суспензій. Площа їх стикання з тілом шкідників має бути якнайбільшою. Лише за цієї умови ефективність їх може бути високою.

Системні, внутрішньорослинні – препарати, які здатні проникати в рослини через вегетуючі органи, корені, насіння. Вони роблять рослинний сік на тривалий час отруйним для шкідників, не завдаючи шкоди самим рослинам. Застосовані способом обприскування, вони легко проникають усередину рослин крізь поверхню листків, а при внесенні у ґрунт всмоктуються коренями і теж рівномірно розподіляються не тільки в усіх вегетативних, а й у генеративних органах рослин. Системні препарати є ефективними проти переважної більшості дрібних, сисних комах і рослиноїдних кліщів, що живуть потайки. Живлячись отруєним системними препаратами соком рослин, сисні шкідники швидко гинуть. Отже, за способом дії на шкідників системні препарати є в основному кишковими. У сучасному асортименті системних препаратів більшість виявляє і контактну дію. Тому крім сисних комах і кліщів від них гинуть також різні гризучі комахи-мінери (гусениці мінуючих молей, личинки мінуючих мух тощо), які живуть

всередині рослинних тканин. Більшість жуків та їх личинок, гусениць біланів, шовкопрядів і совок, несправжніх гусениць пильщиків та інших великих листогризух шкідників відзначаються підвищеною стійкістю проти системних препаратів, тому їх ефективність недостатня. Великим недоліком системних препаратів (це стосується також фунгіцидів і гербіцидів) є поява стійкості до них у шкідливих організмів (резистентності).

Фуміганти – хімічні сполуки, що у вигляді отруйного газу або пари проникають в організм комах і тварин через органи дихання і спричинюють їх отруєння. Препарати цієї групи діють на кровоносну, ферментну або нервову системи живих організмів. Деякі з газоотруйних препаратів здатні також безпосередньо руйнувати шкірні покриви тіла шкідників (сірчистий газ). Більшість препаратів-фумігантів відзначається досить широким спектром дії, що робить їх придатними для боротьби з численними шкідниками з різних груп тваринного світу. Зокрема, препарати цієї групи можуть знищувати шкідливих ссавців, шкідливих членистоногих (комах, кліщів), деяких шкідливих круглих черв'яків або нематод. Однак практично препарати фумігаційної дії застосовуються здебільшого проти шкідників, що живуть потайки і яких важко або зовсім неможливо знищити препаратами іншої дії. Практичне значення має також використання деяких фумігантів для знезараження культиваційних споруд закритого ґрунту від комплексу шкідливих організмів. На ефективність препаратів фумігаційної дії значно впливає температура. З підвищенням температури повітря фумігаційна токсичність препаратів зростає, із зниженням – послаблюється. Оптимальною є температура близько 18-25 °С. При температурі нижче 10-12 °С ефективність більшості фумігантів настільки знижується, що застосування їх найчастіше стає недоцільним. Майже всім препаратам фумігаційної дії властива висока фітотоксичність. Навіть у найменших концентраціях, часто недостатніх для знищення шкідників, препарати цієї групи дуже пошкоджують зелені рослини, спричинюючи опіки та обпадання листків. Обробку фумігантами краще витримує посівний матеріал зернових, зернобобових та деяких інших сільськогосподарських культур, якщо вологість його не

перевищує кондиційної. Надмірно вологе насіння під впливом препаратів фумігаційної дії здебільшого частково або й повністю втрачає схожість. На споживчі, харчові та смакові якості зерна, продуктів його переробки, плодів чи інших харчових і кормових продуктів різні фумігаційні препарати впливають по-різному. Тому при їх використанні необхідно детально знати фізико-хімічні особливості кожного з них. Деякі фуміганти можуть шкідливо впливати на метали, фарби, тканини тощо. Особливо цим відзначається сірчистий газ (утворюється при спаленні препаратів групи сірки). У вологому середовищі корозію металів може спричинити також хлорпікрин.

Препарати комплексної дії – хімічні сполуки, які діють на шкідливі організми одночасно контактно, кишково, системно і фумігаційно. Проте основними є контактні властивості комплексних препаратів. Що ж до інших способів їх дії, то вони, маючи підпорядковане значення, лише підвищують ефективність застосування цих препаратів, але не зумовлюють її. Більшості комплексних інсектицидів властивий широкий діапазон дії. Вони токсичні для рухливих стадій розвитку майже всіх гризучих та сисних комах, зокрема, для різних жуків та їх личинок, для гусениць метеликів і несправжніх гусениць пильщиків, для саранових, багатьох попелиць, трипсів, цикадок, клопів тощо. Поділ препаратів на вищезазначені групи до певної міри умовний, адже більшості сучасних препаратів властива і побічна дія.

Використання феромонів. Необхідність вирішення проблеми охорони навколишнього природного середовища і захисту рослин від шкідливого впливу пестицидів сприяло виникненню нового напрямку в науці та практиці захисту рослин – управління живими організмами за допомогою хімічних сполук. Значну кількість із відомих природних проявів хімічної комунікації можна використати для вирішення практичних завдань шляхом втручання у взаємовідносини всередині тваринного і рослинного світу, а також при взаємодії між ними. Особливо привабливою є можливість втручатися в життєдіяльність комах за допомогою феромонів. На сьогодні накопичено значний досвід використання цих хімічних сполук для регулювання поведінки комах, зниження чисельності шкідливих видів, стримування популяцій на

безпечному рівні. Феромони комах (телегрени, сексатракти, кайромони) є біологічно активними речовинами (БАР), які продукуються спеціалізованими залозами і виділяються в навколишнє природне середовище, специфічно впливають на поведінку, метаболізм та фізіологічний стан інших особин того самого виду. Комахи виділяють статеві феромони, які забезпечують зустріч і «розпізнавання» особин різної статі і стимулюють статеву поведінку. Інші – забезпечують скупчення значної кількості особин на певній території, а феромони «тривоги» викликають реакції втечі, агресії тощо. Давно відомо, що самки деяких видів комах здатні приваблювати самців на значній відстані, інколи за кілька кілометрів, виділяючи леткі речовини з надзвичайною біологічною активністю. Відомо, що 30 молекул такого статевого феромону, або  $10^{-14}$  мкг, спричинює реакцію самця. Ці молекули потрапляють на вусики самця, викликаючи симетричний імпульс у нервах, які передають відповідну реакцію на мускулатуру. Така реактивна дія спричинюється тільки специфічним феромоном.

Встановлено, що феромони викликають не тільки статеву реакцію. Всі хімічні речовини, які виділяються тваринами, викликають ту чи іншу фізіологічну або поведінкову реакцію особин того самого виду. Мурашки, наприклад, виділяють слідові феромони, які дають можливість іншим членам колонії знаходити дорогу до мурашника. У більшості комах статеві феромони виділяються самками, водночас описано 107 видів комах, у яких самці феромонами приваблюють самок. Феромони – дуже складні за природою хімічні речовини. Так, у яблуневої плодожерки виявлено сім різних компонентів феромону. Головним з них є лише крищомоз, а інші або підсилюють, або стримують його дію.

Після визначення складу феромону тутового шовкопряда в 1959 р. дослідження цих речовин у багатьох країнах світу розвивались бурхливими темпами. Так, на початок 90-х років ХХ ст. описано феромонні речовини у 672 видів комах. Серед вивчених феромонів виявлена певна закономірність, яка дає змогу провести їх розподіл за хімічним складом на три групи: насичені спирти та їх ефіри, алифатичні кислоти і терпеноподібні сполуки. Найбільша кількість відомих фе-

ромонів належить до першої групи. Нині вивчено понад 250 видів комах, здатних виділяти феромони. Залежно від реакції особин протилежної статі феромони умовно поділені на три групи. Першу складають феромони, які виділяються самками (яблунева плодожерка, непарний шовкопряд). До другої належать феромони, які виділяються самцями (ріпаковий білан, клоп-черепашка). До третьої групи – феромони, які виділяються самцями і самками для взаємного приваблювання (жуки-короїди). Більшість видів комах продукують феромони першої групи і лише 25 % вивчених видів продукують феромони другої групи.

Для виробничого використання рекомендовано феромони східної, сливової та яблуневої плодожерок (ПАК-1П, ПАК-1К, ПАК-5, ПАК6, ферофлор СР, КМ, НМ, ЕА, ХС та ін.) Статеві феромони є найбільш активними фізіологічними речовинами, які відомі на даний час. Як регулятори-ювенільники і стимулятори процесів відтворення виду вони здатні у незначних кількостях викликати відповідні реакції особин іншої статі того самого виду. Завдяки високій активності статевих феромонів самці і самки комах у природних умовах мають можливість відшукувати одне одного на значній відстані. Так, самка непарного шовкопряда приваблює самців на відстані 400 м, а виділення феромону однією самкою соснового пильщика приваблює понад 11 тис. самців на відстані 17,5 км протягом восьми діб. Статеві феромони здебільшого мають вузьку видову специфічність. Із вивчених феромонів тільки феромон самки кукурудзяного метелика є спільним для двох "видів комах, які належать до різних родин.

Успіхи в галузі дослідження феромонів і можливість мати їх в необхідній кількості дали змогу на практиці переконатися у перевагах їх використання. Вони мають високу біологічну активність, специфічність, безпечні для навколишнього природного середовища. Використання феромонів дає можливість не знищувати, а регулювати чисельність шкідливої популяції в економічно доступних межах. Застосування феромонів для захисту рослин започатковано недавно. Особливо ефективним є використання пасток з синтетичними статевими феромонами як засобу раннього виявлення шкідників, спостереження

за сезонною динамікою їх популяцій, оптимізації раціонального використання хімічних засобів захисту рослин. При створенні оптимальної щільності феромонних пасток міграція комах може досягти 98 %. Протандрію, тобто передчасне формування статевої зрілості самців порівняно з самками, зареєстровано майже у всіх видів вивчених чорнишів. Це дає можливість відловлювати значну (до 70 %) частину самців до масової появи статевозрілих самок. Одержано високу біологічну ефективність синтетичного феромону бурякової мінуючої молі, окличної, озимої і бавовняної совок, злакової листовійки. Поєднання феромонних пасток з кольоровими і ароматичними приваблювачами значно підвищує їх ефективність. У багатьох випадках адитивна дія досягається також при використанні в одній пастці феромонів різних видів шкідників.

Для цілого ряду комах розроблені і досить успішно використовуються заходи безпосереднього регулювання їх чисельності за допомогою синтетичних статевих феромонів (створення так званого «самцевого вакууму»). Особливого значення такі методи набувають при розробці заходів боротьби і нагляду за шкідниками, що живуть потайки. Відстань приваблювання самців феромонними пастками залежить від виду і дози феромону.

Регулятори росту, розвитку і розмноження комах (РРР). У зв'язку з екологічними проблемами щодо збереження навколишнього природного середовища першочерговими завданнями є пошук, створення і впровадження в практику ефективних і безпечних засобів захисту рослин з новими механізмами дії порівняно з традиційними пестицидами. Одним із перспективних наукових напрямів є використання хімічних сполук, які здатні регулювати ріст, розвиток і розмноження шкідливих комах. Основною особливістю РРР, які відрізняють їх від традиційних інсектицидів, є відсутність у них прямої токсичної дії. Вони здатні спричинювати в живих організмах численні біохімічні зміни. До цієї групи належать синтезовані і виділені з природних джерел БАР різної хімічної природи, які впливають на гормональну активність комах. Здебільшого вони виявляють свою дію як антагоністи гормонів або вибірково діють на окремі ланки нейро-

ендокринної системи комах, змінюючи її функціональну активність. Подібно до традиційних інсектицидів РРР комах за способом дії представлені у формі препаратів контактної, кишкової, фумігаційної та системної дії. Вони характеризуються також ступенем токсичності, персистентності й інших екотоксикологічних параметрів. Як правило, РРР комах – малотоксичні або майже не токсичні для теплокровних тварин ( $LD_{50} > 10$  г/кг). Вони діють на такі системи і функції комах, які або відсутні у теплокровних тварин (линяння, метаморфоз, діапауза), або регулюються у хребетних іншим типом гормонів. Як зазначалося раніше, їх знищувальна дія виявляється не в токсикації організму (його органів, тканин), а в порушенні процесів онтогенезу через зміну загального гормонального балансу. Комахи при цьому гинуть внаслідок розкоординованості розвитку окремих органів або метаболічних процесів.

Важливою відмінністю РРР комах від інсектицидів є різка мінливість чутливості до них комах залежно від етапу онтогенезу. Виділяють такі основні групи РРР комах. Аналоги ювенільного гормону, або ювеноїди. Це природні або синтетичні сполуки, які імітують функції негативних гормонів комах і спричинюють морфогенетичний або гонадотропний ефекти, а також включення імагіальної діапаузи. Найпоширенішими є зарубіжні препарати – метокрен, гідропрен, кінопрен, екофеноцен, реноксикарб, ювеніл (останній є перспективним у боротьбі з попелицями, непарним шовкопрядом, комахами, мухами, тарганами).

Антиювенільні препарати або прекоцени. Препарати, які належать до цієї групи, пригнічують секреторну діяльність залоз або блокують синтез ювенільних гормонів, спричинюють порушення метаморфозу або репродуктивної функції комах (зарубіжні препарати прекоцен 1 і 2). Аналоги гормону лinyaння комах (екдизоїди). Речовини цієї групи структурно відрізняються від гормону лinyaння комах, але імітують його функціональну активність (порушують лinyaння, виключають лялечкову або личинкову діапаузу).

Антиекдизоїди. Речовини, які імітують дію екдистероїдних гормонів і стимулюють процеси лinyaння, а також виявляють ларвіцидну

дію. Інгібітори синтезу хітину. За своєю природою – це гормональні речовини, які інгібують синтез хітину у комах. Основною особливістю їх є здатність пригнічувати процес формування кутикули в період росту і розвитку, у зв'язку з чим відмирання гусениць відбувається під час їх линяння, а яєць – в період завершення ембріонального розвитку. Найбільша біологічна ефективність цих препаратів виявляється при застосуванні їх при масових яйцекладках і відродженні гусениць з яєць. Для досягнення бажаного позитивного ефекту їх необхідно застосовувати в період масового льоту метеликів, відкладання яєць і початку відродження гусениць. Ефект від препаратів цієї групи виявляється не одразу після їх застосування, а через декілька діб при черговому линянні гусениць.

Практичне використання знайшли препарати димелін, каскад, алсістин, атаброн, інсегар, номолт, сонет, ейм, кабан, метопрен, аплауд, тригард, дарт і деякі інші. При обприскуванні рослин робочими рідинами препарати на рослинних органах зберігаються 15-20 діб навіть за наявності опадів. Регулятори росту, розвитку і розмноження комах останнім часом дедалі більше набувають популярності. У майбутньому вони становитимуть переважну більшість в асортименті засобів захисту рослин. Їх перевагами перед традиційними інсектицидами є висока біологічна ефективність, мала токсичність для теплокровних тварин і людей, безпечність для корисних представників фауни.

Аналоги пептидних гормонів (нейрогормони). Речовини, які належать до цієї групи, негативно впливають на лялечкову та імагіальну діапаузу, водний обмін й інші функції комах. Інсектицидних препаратів на основі речовин цієї групи поки що не створено і взагалі ця група РРР комах найменш вивчена. Оскільки нейрогормони мають білкову природу, це в перспективі дозволяє штучно регулювати їх біосинтез методами генної інженерії. Можлива також регуляція секреції нейрогормонів, які фізіологічно є важливими для комах і при цьому не мають негативного впливу на теплокровних. З метою порушення гормонального балансу комах-шкідників і ефективного використання

інсектицидів третьої генерації найбільш перспективними є такі наукові напрями:

- створення методами генної інженерії спеціальних мікроорганізмів, які здатні порушувати нейрогормональну регуляцію у комах;
- штучне посилення або пригнічення нейросекреції препаратами, які імітують дію відповідних нейромедіаторів;
- досягнення тієї самої мети за допомогою спеціальних хімічних сполук, які діють на специфічні нейрогормональні рецептори комах, тощо.

Атрактанти – природні або синтетичні речовини, які запахом або смаком приваблюють тварин, особливо комах, стимулюють їх живлення (харчові А), відкладання яєць, агрегацію особин і їх спарювання (статеві А). Атрактивність (принаджувальність) складових кольорового спектра для багатьох комах відома давно. Проте на практиці цей засіб використовується лише для окремих видів. Найширшого використання набула жовта частина спектра для тепличної білокрилки в умовах закритого ґрунту. Найбільш придатним і повністю безпечним засобом виявлення і зменшення чисельності імаго білокрилки є використання жовтих клейових пасток (ЖКЦ). Як пастки використовують різні пофарбовані в жовтий колір матеріали (твердий папір, фанеру, полімерні плівки тощо), на поверхню яких наноситься тонкий шар клейкої речовини, яка тривалий час не висихає і не має репелентних властивостей. Найбільш доцільно використовувати для цього спеціальний ентомологічний клей «Пестифікс», «Ліпофікс» та ін.

Пастки і отруєні принади – одні із найстаріших методів боротьби зі шкідниками. У багатьох пастках для комах хімічні препарати не використовуються. В перших «хімічних» пастках використовувалися харчові атрактанти, наприклад, шматочки бульб картоплі для відловлювання дротяників і слимаків. Цей спосіб згодом став одним з варіантів хімічного знищення приваблених комах. Метод приваблювальних культур широко використовувався в закритому ґрунті, а також у боротьбі з пустельною сараною, слимаками та іншими шкідниками в польових умовах. Істотним недоліком натуральних харчових принад є

необхідність застосування їх у значних кількостях. Наприклад, для значного зменшення чисельності того чи іншого шкідника плодових культур необхідно було б витратити таку кількість плодів, яка перевершила б увесь очікуваний врожай. Цей метод боротьби економічно був би абсолютно не виправданим. Для вирішення цієї проблеми слід би було створити дешеві синтетичні атрактанти, придатні до використання у спеціальних пастках.

Репеленти – хімічні препарати з групи пестицидів, які використовуються для відлякування комах від рослин, якими вони живляться. Репелентні речовини продукуються окремими видами тварин, комах, рослинами, а також штучно синтезуються. Природні репеленти поширені серед окремих видів комах, які користуються ними для захисту від інших видів. Відомо понад 50 видів таких комах. Репелентні речовини виявлені також і у деяких рослинах (кропі, інших ефіроолійних), що зумовлює стійкість останніх до окремих видів шкідників. Однак надійних репелентів для захисту рослин від рослиноїдних комах поки що немає. Репеленти тваринного і рослинного походження в практиці використовують давно (пахучі рослини, олії тощо).

На даний час використовуються, в основному, хімічні, зокрема, синтетичні речовини-репеленти, які мають тривалий строк дії. За хімічною структурою це складні ефіри, спирти, альдегіди, ефірні олії та ін. Залежно від дії на поведінку комах репеленти поділяють на окремі групи. Репеленти ольфофакторні, або руміганти. Це п'янки речовини, які діють на нервові закінчення нюхових органів членистоногих і заважають їм у виборі об'єкта для живлення. Репеленти протисмакові. Речовини, які належать до цієї групи, негативно діють на органи смаку та нюху комах при безпосередньому контакті з обробленою поверхнею рослин. Репеленти маскувальні, або дезорієнтуючі. При застосуванні нейтралізують або знищують природні запахи, які приваблюють шкідників. Більшість репелентів – хімічні речовини малотоксичні для теплокровних тварин і людей. Однак серед них є сполуки, які здатні подразнювати шкірний покрив, мають неприємний запах і належать до середньо- та високотоксичних. Тому при їх використанні необхідно дотримуватися передбачених правил техніки безпеки.

Найбільш відомим для більшості населення репелентом є нафталін, який використовується для відлякування одяжної молі. Враховуючи механізм дії нафталіну, необхідно пам'ятати, що бажаного ефекту можна досягти лише тоді, коли препарат буде вміщений у середовище до появи там молі. В іншому разі його використання є неефективним. Довгий час тримати препарат у середовищі не бажано, тим більше у житловому приміщенні.

На сьогодні репеленти використовуються, головним чином, для захисту людей і тварин від нападів кровосисних комах і в окремих випадках захисту рослин від шкідників. Використання репелентів з метою захисту сільськогосподарських культур від шкідників має певну перспективу. Одним з напрямів є вибіркоче застосування інсектицидів і репелентів. Для цього основну частину поля обробляють репелентом, залишаючи необроблені смуги, на яких накопичуються шкідники. Згодом ці смуги обробляють тим чи іншим інсектицидом. Крім того, можливе їх комбіноване використання тощо. Можна використовувати репеленти і для відлякування птахів, гризунів.

Антифіданти – хімічні сполуки, які, змінюючи смак рослин і матеріалів, запобігають їх поїданню комахами і тваринами. Роботи щодо створення антифідантних хімічних препаратів почалися у 30-ті роки ХХ ст. Проте тільки у 1963 р. були виділені речовини (фентігідроксид і фентінацетат), які мали антифідантні властивості. Після цього були розпочаті інтенсивні пошуки хімічних сполук з аналогічною дією. Можливість використання антифідантів у захисті рослин має особливе значення. Це пов'язано з тим, що вони не спричиняють негативних екологічних змін у навколишньому природному середовищі і дають позитивний ефект. При використанні антифідантних речовин однією з проблем є необхідність повного покриття вегетативної маси рослин, оскільки ці сполуки мають контактну дію. У зв'язку з цим проводяться пошуки антифідантів системної дії. Найбільш вивчені антифіданти комах. Антифіданти, як і репеленти, не знищують тварин. Комахи сідають на рослини, оброблені антифідантами, але не живляться ними (не завдають шкоди). Інколи після контакту з антифідантними речовинами живлення комах призупиняється на тривалий

час. Комахи можуть гинути від голоду, залишаючись на кормовій рослині за наявності на ній антифідантів. Відомо, що живлення комах збуджується хеморецепцією у відповідних органах. Сполуки, які викликають таку реакцію, характерні для кола кормових рослин певного виду. Вони, як правило, і не мають особливої кормової цінності, але комахи з'їдають оброблений ними папір, який непридатний як харчовий продукт, і гинуть. Складнішим є сигнал про закінчення або відмову від живлення. Якщо його припинити штучно, комахи житимуться доти, поки не загинуть від переїдання. Так, наприклад, впливає метилевгенол на тропічну плодову муху. З'їдання комахами непридатного для них корму або надмірне поглинання його практично не спостерігається в природних умовах. Однак антифідантні сполуки, що спричиняють такі явища, вже знайдені і проводяться пошуки нових, ефективніших сполук такого типу.

Антирезистенти – хімічні сполуки, які позитивно впливають на підвищення стійкості рослин проти пошкодження шкідниками і ураження збудниками грибних хвороб. Стериланти комах – це хімічні сполуки або фізичні фактори, які позбавляють комах здатності розмножуватись. Променеву стерилізацію найчастіше проводять гамма-випромінюванням. Розмножених у штучних умовах комах опромінюють дозами, які спричиняють у них зміни в генеративних органах і статевих клітинах, що приводить до повної їх безплідності. Стерильних самок або самців випускають у природне середовище у кількості, яка набагато перевищує чисельність природних популяцій. У результаті повторних випусків стерилізованих особин популяція шкідника може бути знищена повністю. Стерилізуючі властивості мають також і деякі хімічні сполуки, які прийнято називати хемостерилантами. Вони умовно поділені на три групи: антиметаболіти – метатрексат, аміноптерин, вторурацил та ін. (порушують обмін речовин і спричиняють стерильність, головним чином самок), алкілюючі речовини – хлорамбуцил, афолат, афроксит та ін. (впливають на зміни в хромосомах статевих клітин і спричиняють стерильність, головним чином самців). До третьої групи входять деякі інші сполуки. Хемос-

терілянти можна використовувати як окремі препарати або в суміші з атрактантами.

### ***Класифікація пестицидів за хімічним складом***

Класифікація пестицидів за хімічним складом є найпоширенішою. Умовно їх можна об'єднати в такі класи:

- 1) хлорорганічні;
- 2) фосфорорганічні;
- 3) похідні карбамінової, тіо- і дитіокарбамінової кислот;
- 4) карбонові кислоти та їх похідні (хлорфеноксіоцтові кислоти; арилалкілкарбонові кислоти);
- 5) галоїдзаміщені аніліди карбонових кислот;
- 6) похідні сечовини;
- 7) гетероциклічні сполуки (похідні симтриазинів, бензімідазолу, триазолу, морфоліну, феніл-піразолу та ін.);
- 8) нітро- і галоїдпохідні фенолу;
- 9) вуглеводні, кетони, альдегіди та їх похідні;
- 10) сірка та її препарати;
- 11) фторовмісні сполуки;
- 12) купрумвмісні (мідьвмісні) сполуки;
- 13) органічні металовмісні сполуки;
- 14) синтетичні піретроїди;
- 15) похідні нерейстоксину;
- 16) фенілпіразоли.

В окремих випадках пестицидні речовини поєднують не за хімічною будовою, а за механізмом дії: феромони, синтетичні ауксини, антикоагулянти крові тощо. Варто зазначити, що всі існуючі класифікації не є постійними, вони змінюються у міру розвитку хімічної промисловості, в тому числі і хімії пестицидів. Близькі за будовою представники одного і того самого класу речовин мають різні пестицидні і токсичні властивості, відрізняючись одна від одної інколи призначенням, частіше – силою пестицидної і токсичної дії. Незважаючи на вказану різницю, представники одного й того самого класу сполук мають і схожі властивості, а дуже часто – ті самі механізми

дії. Знання хімічної класифікації дає змогу фахівцям із захисту рослин, насамперед працівникам контрольно-токсикологічних лабораторій, орієнтуватися в потоці інформації про пестициди при всій їх різноманітності і подібності, а особливо – при вивченні нових пестицидних речовин, що надходять на український ринок.

До хімічних сполук, які використовуються або пропонуються для захисту рослин від шкідливих організмів, висуваються такі вимоги:

- пестицидна ефективність – повинні знищувати або обмежувати розвиток шкідливих тварин, збудників хвороб, бур'янів, не впливаючи негативно на довкілля;
- економічна ефективність – витрати на використання пестицидного препарату повинні бути значно меншими порівняно з вартістю збереженої сільськогосподарської продукції внаслідок його застосування;
- санітарно-гігієнічні властивості – не спричинювати негативного впливу на здоров'я людей і довкілля під час використання і у віддаленому майбутньому.

### *Гігієнічна класифікація пестицидів*

Гігієна – медична наука, яка вивчає вплив умов довкілля, в тому числі і пестицидів, на здоров'я людей. Гігієна розглядає ці фактори з погляду впливу їх на людей не окремо, а як єдине і взаємопов'язане ціле. На підставі вивчення численних факторів зовнішнього середовища гігієна розробляє правила, норми і практичні заходи з метою його оздоровлення. Для вирішення цього важливого питання гігієна використовує фізичні, хімічні, фізіологічні, токсикологічні та інші методи. Гігієна включає низку самостійних розділів, у тому числі й гігієну пестицидів. Якщо гігієна – наука про здоров'я загалом, то гігієна застосування пестицидів – наука про методи, способи і заходи охорони здоров'я населення у зв'язку з використанням пестицидів, циркуляцією їх в навколишньому середовищі і накопиченням в різних об'єктах, у тому числі живих організмах, включаючи тварин і людину. В її завдання входить розробка методів і засобів профілактики гострих, хронічних отруєнь й інших видів захворювань, а також

розробка ефективних заходів санітарної охорони навколишнього середовища, особливо таких важливих для життя і здоров'я людей компонентів, як повітря, вода, ґрунт, харчові продукти рослинного і тваринного походження. Цими завданнями керуються гігієністи при оцінці асортименту, регламентів застосування пестицидів, які дозволяються для використання.

Гігієнічна класифікація пестицидів вивчає такі властивості: стійкість, леткість, токсичність пероральну та шкірно-резорбтивну, кумулятивність, бластомогенність (канцерогенність), тератогенність (виродливість), ембріотоксичність (дія на материнські органи), алергенність та деякі інші. У системі безпечного поводження з пестицидами важливе місце посідає методологія встановлення класу небезпеки препаратів за ступенем їх токсичності й небезпеки для людини. Клас небезпеки вказується на етикетці пестициду, у рекомендаціях щодо його застосування та іншій нормативно-інструктивній документації. Класом небезпеки пестициду визначаються можливість та умови його впровадження, реєстраційні вимоги, обсяг необхідних досліджень, а також особливості контролю й нагляду. Так, застосування пестицидів авіа методом можливе тільки для помірно- і малонебезпечних препаратів. Для використання в особистих підсобних господарствах (ОПГ), як правило, рекомендуються також препарати цих класів небезпеки. Застосування небезпечних пестицидів у сільському господарстві дозволяється здійснювати тільки фахівцям із захисту рослин або під їх контролем. Крім того, у деяких випадках при застосуванні препаратів цього класу рекомендується проведення моніторингу можливості забруднення навколишнього середовища тощо. Таким чином, правильність та об'єктивність встановлення класу небезпеки пестицидів є важливою науково-практичною проблемою. Класифікація поширюється на технічні діючі речовини і препаративні форми пестицидів для умов їх зберігання й застосування. Класифікація не поширюється на умови виробництва і транспортування пестицидів.

Для оцінки небезпеки пестицидів при їх виробництві необхідно користуватися нормативно-правовими документами. Першою такою

спробою розробки гігієнічних критеріїв оцінки пестицидів слід вважати «Методичні вказівки по гігієнічній і токсикологічній оцінці отрутохімікатів» (1956). З роками критерії уточнювалися, удосконалювалися. В 1998 р. МОЗУ затвердило нову «Гігієнічну класифікацію пестицидів за ступенем небезпеки», згідно з якою пестициди поділяються на чотири класи:

I – надзвичайно небезпечні;

II – небезпечні;

III – помірно небезпечні;

IV – малонебезпечні (аналогічна класифікація Л. І. Медведя та ін., 1968).

Віднесення пестициду до конкретного класу небезпеки ґрунтується на принципі комплексної оцінки властивостей з урахуванням лімітуючого критерію шкідливості, тобто оцінка здійснюється за критерієм, який визначає найбільшу небезпеку пестициду для здоров'я людини. Клас небезпеки пестициду визначається фахівцями-експертами медико-біологічного профілю. Класифікації підлягають діюча речовина та її препаративні форми. Під час розв'язання питання про можливість застосування конкретного пестициду повинен враховуватися не лише клас небезпеки згідно з класифікацією, а й результати досліджень з оцінкою реальної небезпеки препарату для працівників (операторів) та населення.

Як правило, пестициди I класу небезпеки не рекомендуються для застосування в сільському господарстві. Обмежене застосування їх можливе у виняткових випадках (гостра потреба знищення шкідливих об'єктів) за таких умов: – препаративна форма, технологія та суворі регламенти застосування зводять до мінімуму реальну небезпеку цих речовин для працівників, населення і навколишнього середовища; – роздрібний продаж забороняється; – усі роботи проводяться тільки спеціалістами відповідного профілю та під контролем службових осіб. Цей виняток не поширюється на речовини, які мають канцерогенні або мутагенні властивості і застосування яких забороняється.

Пестициди II класу небезпеки у разі необхідності можуть застосовуватися в господарствах тільки спеціалістами із захисту рослин

або під їх контролем чи особами, що пройшли спеціальну фахову підготовку, за умов суворої регламентації застосування, яка гарантує їх безпеку для працівників, населення і навколишнього середовища. Роздрібна торгівля пестицидами II класу допускається лише особами, що пройшли спеціальну фахову підготовку.

Пестициди III і IV класів небезпеки застосовуються відповідно до вимог чинних санітарних норм, правил, інструкцій та рекомендацій. При цьому для препаратів III класу небезпеки забороняється роздрібна торгівля в неспеціалізованих торгових місцях. До класифікації включено показники токсичності під час пероральної, наскірної та інгаляційної дії, критерії кумулятивної, алергенної, тератогенної, ембріотоксичної, репродуктивної, мутагенної, канцерогенної дії та стійкості в фунті.

Всі пестицидні препарати мають застосовуватися за умови обов'язкового дотримання Державних санітарних правил «Транспортування, зберігання та застосування пестицидів у народному господарстві» (1998). Класифікація є предметом дискусії щодо гармонізації європейських і американських вимог до реєстрації та регламентації пестицидів. На підставі даних про фізико-хімічні та токсикологічні властивості пестицидних препаратів, а також аналізу випадків отруєння людей, причин забруднення довкілля та продуктів харчування сформульовані гігієнічні умови до пестицидних препаратів:

- в сільському та лісовому господарстві використовуються переважно малотоксичні для теплокровних тварин і людей препарати (за винятком родентицидів);
- не використовуються стійкі речовини, які не розкладаються в природних умовах на нетоксичні компоненти протягом двох і більше років;
- недоцільно використовувати препарати, які мають виражені кумулятивні властивості;
- не допускаються до використання речовини, в яких при попередньому вивченні виявлені канцерогенні, мутагенні, ембріотоксичні й алергенні властивості.

Токсичність є одним з важливих показників впливу пестицидів на живі організми і довкілля. Мірою токсичності є доза. Токсичний ефект залежить від кількості та часу перебування людини, тварини, збудника тощо під впливом пестицидів. Токсичність залежить від впливу та кількості діючої речовини основних або інертних розчинних інгредієнтів. Особливо небезпечні такі форми, як пил, гранули, порошок, емульсійні концентрати. Токсичність конкретного пестициду можна визначити, обробивши різними дозами діючої речовини та різними формами продукту піддослідних тварин (щурів, мишей, кролів, собак) або окремі види рослин. Вивчення токсичності допомагає визначити ризик впливу пестициду на людину. Оральна токсичність визначає ураження організму при потраплянні хімічних сполук у шлунок (одноразове введення речовини у шлунок піддослідним тваринам з визначенням ЛД50). За мірою токсичності сучасні пестициди поділяють на чотири групи: сильнодіючі (СДОР), які мають ЛД50 менш як 50 мг/кг живої маси; високотоксичні – ЛД50 = 50-200 мг/кг; середньотоксичні – ЛД50 200-1000 мг/кг; малотоксичні – ЛД50 понад 1000 мг/кг. Шкірно-резорбтивна (дермальна) токсичність визначає ураження шкіри і ступінь проникнення речовини в організм крізь непошкоджену шкіру (одноразове нанесення речовини на шкіру з оцінкою токсичної дії за критерієм ЛД50). За ступенем шкірно-резорбтивної токсичності пестициди поділяються на три групи: гостро виявлена – ЛД50 при надходженні хімічних сполук крізь шкіру менше 300 мг/кг, шкірно-оральний коефіцієнт (відношення ЛД50 при нанесенні на шкіру до ЛД50 при введенні сполуки в шлунок, який характеризує ступінь шкірної резорбції ЛД50) менший за 1; виявлена – ЛД50 крізь шкіру 300-1000 мг/кг, шкірно-оральний коефіцієнт 1-3; слабо виявлена – ЛД50 на шкіру понад 1000 мг/кг, шкірно-оральний коефіцієнт більш як 3. Пестициди, які належать до першої групи гігієнічної класифікації, не використовуються у сільськогосподарському виробництві, оскільки вони здатні спричинити гостре отруєння людини при потраплянні на шкіру. При використанні пестицидів, які належать до другої групи токсичності, необхідно чітко дотримуватися заходів безпеки, щоб запобігти потраплянню їх на шкіру.

Проблема надходження токсичних речовин через шкіру (резорбція) має багато аспектів: залежність проникнення від структури і фізико-хімічних властивостей речовин; механізми і шляхи проникнення; проникність окремих частин шкіри для пестицидів тощо. Інгаляційна токсичність характеризує небезпечність речовини при проникненні в організм через органи дихання і залежить від ступеня леткості. Ураження очей свідчить про потрапляння хімічних сполук в органи зору.

Залежно від ступеня токсичності розрізняють:

- дуже небезпечні речовини – насичена концентрація більша або дорівнює летальній; небезпечні – насичена концентрація більша від порогової і концентрації, яка в окремих випадках спричинює летальний ефект;
- малонебезпечні – насичена концентрація не викликає порогової дії.

Токсичність також має гострий, хронічний та алергічний прояви. Гостра токсичність, як правило, характеризується негайним проявом ураження після разового короткочасного впливу речовини. Гостра токсичність може бути оборотною в разі вчасного надання людині відповідної медичної допомоги. Хронічна токсичність (уповільнені ураження) – це ураження або ушкодження організму, які виникають не відразу після надходження пестицидів або їх комбінації. Уповільнені ураження можуть бути спричинені: постійним надходженням пестицидів або їх комбінацій протягом тривалого періоду; разовим надходженням пестицидів або їх комбінацій, яке спричинює фізіологічне порушення, що стає помітним через деякий час. Деякі пестициди спричинюють уповільнені ураження тільки при постійному надходженні в організм людини протягом кількох днів, місяців або навіть років. Наслідком токсичності можуть бути такі ефекти: утворення пухлин (онкогенність); злоякісних пухлин (канцерогенність); зміни у генах і хромосомах (мутагенез); вплив на репродуктивні органи людини, що спричинює безплідність, імпотентність чоловіків, дефекти при пологах (тератогенез) та ін. Вважається, що деякі з цих уражень з'являються відразу ж після впливу пестицидів або їх комбінацій, але

вони можуть бути непомітними ще деякий час. Наприклад, природжений дефект може бути помітним тільки після народження дитини.

Шкідливий вплив пестицидів на організм людини виявляється в порушенні функцій кровоносної системи (гемотоксикоз), анемії, гемофілії; у розладі нервової системи (нейротоксикоз), параліч, збудження нервової системи, зміни поведінки, порушення координації руху, сліпота; у дерматитах (висипи, подразнення), знебарвлення та виразки на шкірі; в ушкодженні легенів і респіраторної системи, астмі; жовтяниці печінки та захворюваннях нирок. Алергічні ураження – це реакція організму на подразнення хімічними сполуками. Вони не виявляються під час першого проникнення, оскільки організм виробляє захисні реакції проти них. Наступні впливи закінчуються алергічними проявами ураження. Цей процес називається сенсibilізацією, а речовини, які спричинюють алергічні ураження у людей, називають сенсibilізаторами.

З токсиколого-гігієнічного погляду важливе значення мають кумулятивні і персистентні властивості пестицидів. Кумуляція – нагромадження в організмі і сумарна дія деяких речовин, що спричинює отруєння організму з летальним ефектом. Ступінь кумулятивної дії хімічних сполук виражають коефіцієнтом кумуляції – це відношення сумарної дози речовини, яка спричинює смертність 50 % піддослідних тварин при багаторазовому введенні в організм, до дози, яка спричинює смертність 50 % тварин при одноразовому введенні.

Хімічні сполуки за кумулятивністю поділяються на чотири групи:

- надзвичайно кумулятивні речовини – коефіцієнт кумуляції менший за 1;
- речовини з виявленою кумуляцією – коефіцієнт кумуляції 1 - 3;
- речовини з помірною кумуляцією – коефіцієнт кумуляції 3-5;
- речовини зі слабо виявленою кумуляцією – коефіцієнт кумуляції більше 5.

Персистентність (стійкість) пестицидів – тривалість збереження пестицидами або їх метаболітами біологічної активності в навколишньому середовищі чи окремих об'єктах (грунті, повітрі, воді тощо). Чим вища персистентність пестициду в об'єктах, тим більша його не-

безпека для довкілля. Стійкість пестицидів і їх метаболітів у навколишньому середовищі визначає можливість їх негативного впливу на людей, тварин і рослини при проникненні в організм з продуктами харчування, водою і повітрям. Згідно з прийнятою класифікацією, за ступенем стійкості у навколишньому середовищі пестициди умовно поділяють на чотири групи:

- дуже стійкі – період розкладання на нетоксичні компоненти понад два роки;
- стійкі – період розкладання на нетоксичні компоненти півроку - два роки;
- помірно стійкі – період розкладання на нетоксичні компоненти один - шість місяців;
- малостійкі – період розкладання на нетоксичні компоненти менше одного місяця.

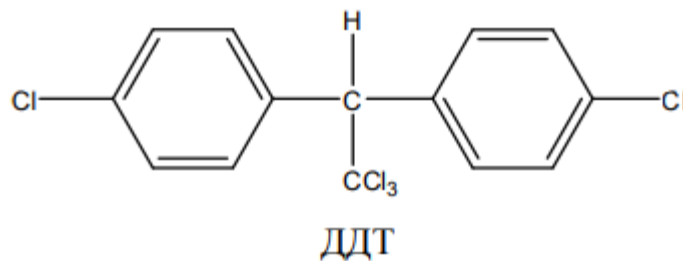
Гігієнічна класифікація дає змогу зробити порівняльну характеристику пестицидних препаратів, визначити, який патологічний ефект є найбільш небезпечним при їх використанні. Нею користуються при складанні висновку щодо можливостей впровадження нових пестицидів у сільськогосподарське виробництво. Крім того, гігієнічна класифікація береться до уваги при оцінці результатів експертизи харчових продуктів, одержаних від рослин і тварин, оброблених пестицидними препаратами. Пестициди, що належать до сильнодіючих і високотоксичних (I та II груп гігієнічної класифікації), є дуже небезпечними, оскільки здатні спричинювати гострі отруєння при надходженні їх в організм з продуктами харчування. Дуже небезпечними є також стійкі препарати з вираженими кумулятивними властивостями, незалежно від їх токсичності при одноразовому надходженні, оскільки вони здатні спричинювати хронічні отруєння. Тому не можна використовувати у виробництві речовини, що не розкладаються в природних умовах на нетоксичні компоненти протягом двох і більше років, а також препарати з гостро вираженою кумуляцією. Недопустиме застосування речовин, якщо при попередньому вивченні встановлена їх канцерогенність, мутагенність, ембріотоксичність та алергенність. Гігієнічною класифікацією керується також санітарна служ-

ба, що здійснює нагляд за умовами праці і повітряним середовищем при застосуванні пестицидів у сільському господарстві та інших галузях.

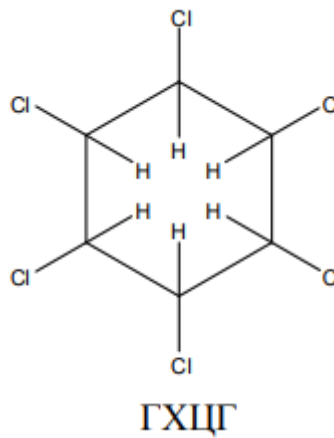
### 1.3. Фізико-хімічні властивості, основні закономірності поведінки в організмі, токсична дія груп ХОС і ФОС на організм

ХОС різноманітні за хімічною будовою, але їх об'єднує наявність атомів хлору в органічній молекулі. Усі ХОС можна поділити на:

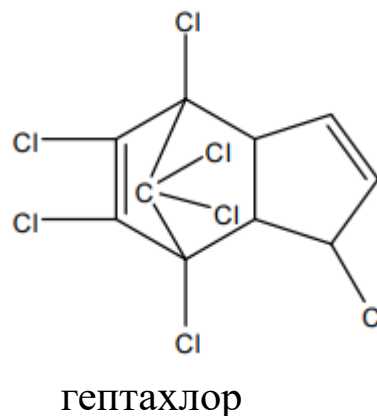
а) групу дихлордифенілтрихлорметилметану



б) групу гексахлорциклогексану (гексахлорану)



в) групу поліхлорциклодієнів



### ***Фізико-хімічні властивості***

ХОС – тверді речовини, які не розчиняються або незначно (слабко) розчиняються у воді, добре – в органічних розчинниках, леткі, дуже стійкі сполуки. Вони не руйнуються при кип'ятінні, навіть у присутності соди. ХОС – ліпідорозчинні неелектроліти. Установлено, що через 7 років після обробки ґрунту в ньому ще зберігається 29 % початкової кількості ХОС, в іншому випадку було визначено 80 % вихідної кількості. ДДТ і деякі інші ХОС можуть зберігатися в ґрунті 10 і більше років. (Стійкість у навколишньому середовищі називають персистентністю). Такі ХОС, як ДДТ, альдрин, дилдрин заборонені. Заборону на застосування ДДТ у сільському господарстві було введено ще 1968 року.

### ***Основні закономірності поводження в організмі***

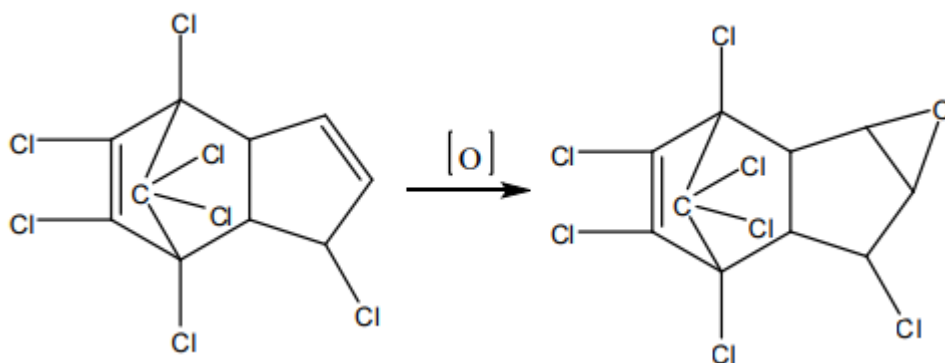
В організм ХОС надходять через рот з їжею і водою, через дихальні шляхи з повітрям, через шкіру при контакті з пестицидами, також проникають через плаценту від матері до дитини. У літературі описані випадки смертельних отруєнь плодами, обробленими ДДТ. Описано випадок смертельного отруєння робітника, що пролив собі на одяг суспензію хлордану.

### ***Розподіл в організмі***

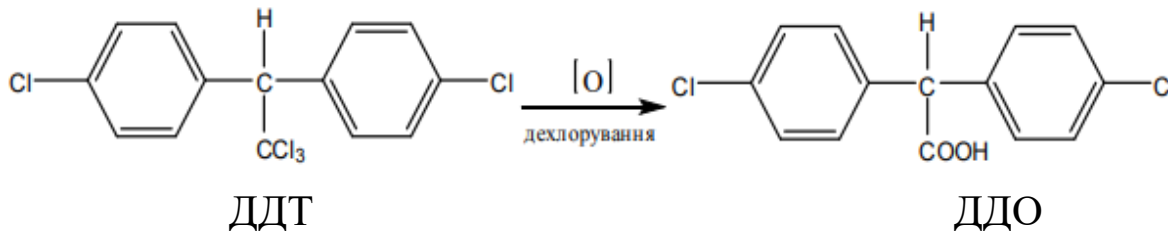
ХОС накопичуються в тканинах і органах, створюючи в них «депо» пестицидів, переважно в жировій тканині. З «депо» ХОС можуть надходити у кров протягом тривалого часу (іноді кілька років).

### ***Метаболізм***

ХОС в організмі піддаються змінам, наприклад, гептахлор перетворюється на гептахлору епоксид, який має ще більшу токсичність, ніж нативна сполука, ДДТ втрачає хлор і перетворюється на дихлордифенілдіхлорметилметан (ДДД), потім окислюється з утворенням дихлордифенілоцтової кислоти (ДДО). Хімізм процесів метаболізму такий:



**Гептахлор Гептахлору епоксид**



**ДДТ**

**ДДО**

### ***Виділення***

ХОС з організму виділяються із сечею, калом, грудним молоком. У зв'язку з останнім можливе отруєння немовлят материнським молоком. Механізм токсичного впливу ХОС на організм людини до кінця не встановлений. Вважають, що початковим чинником дії ХОС є пригнічення ферментних систем організму. Відбувається ушкодження мембран клітин внаслідок переокислення ліпідів, а відтак і порушення обмінних процесів. Летальна доза ХОС коливається від 5 до 60 г.

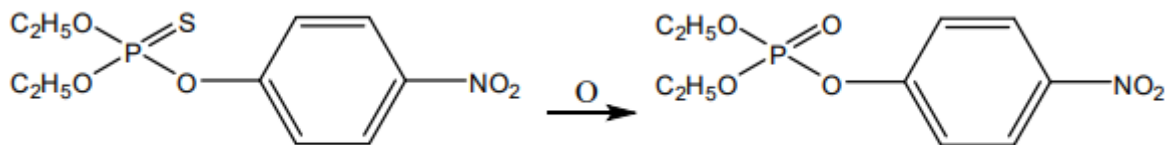
### ***Характеристика ФОС***

Найбільш перспективною, широкого попиту групою пестицидів є група ФОС – органічних сполук із вмістом фосфору. Усі ФОС є естерами фосфатних кислот: фосфатної, тіофосфатної, дитіофосфатної, фосфонові, пірофосфатної (табл. 1).

### ***Фізико-хімічні властивості ФОС***

Більшість ФОС при кімнатній температурі – речовини рідкі, в'язкої консистенції, жовтуватого кольору, добре розчиняються в органічних розчинниках, погано – у воді, леткі. Неочищені препарати мають сильний запах часнику. Деякі речовини бувають кристалічними і можуть розчинятись у воді, наприклад хлорофос.

ФОС легко гідролізуються, особливо в лужному середовищі. Можливі зміни ФОС під дією ферментів організму з утворенням більш токсичних продуктів (при окисленні):



Таблиця 1. Деякі речовини ФОС

Назва	Формула	Похідна якої кислоти
Хлорофос		Фосфонової
Параоксан		Фосфорної
Метафос		Тіофосфорної
Карбафос		Дитіофосфорної
Октаметил		Пірофосфорної

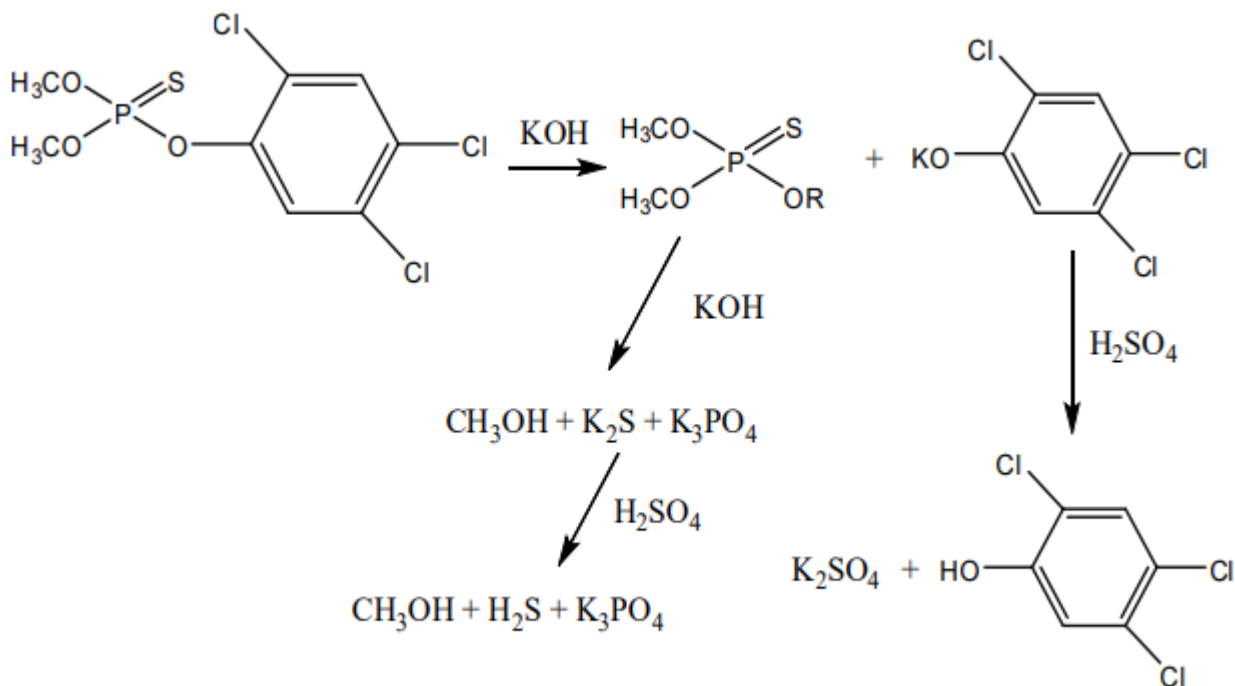
У жорстких умовах процес окислення відбувається аж до утворення неорганічних сполук.

Для похідних тіофосфорної кислоти характерна тіон-тіольна ізомерія:



**тіюновий ізомер тіоловий ізомер**

Трихлорметафос при нагріванні з розчином калію або натрію гідроксиду поводиться таким чином:



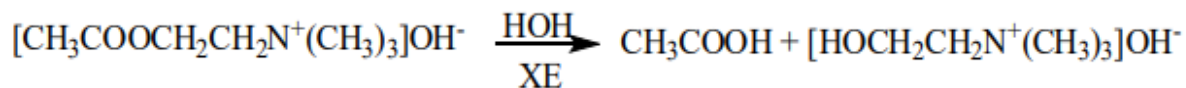
### ***Основні закономірності поводження ФОС в організмі***

В організм ФОС потрапляють через рот, органи дихання, шкіру, слизові оболонки. Розподіл: печінка, нирки, мозок, легені. Найбільша кількість – у печінці та нирках. ФОС швидко руйнуються і виводяться з організму, не створюючи «депо» як ХОС.

Метаболізм. ФОС окислюються і гідролізуються в організмі. При гідролізі утворюються нетоксичні продукти, при окисленні можуть утворитись більш токсичні речовини (приклад наведено вище). Виділяються ФОС і продукти їх метаболізму із сечею, частково з калом, з грудним молоком.

### **Токсична дія ФОС**

Усі ФОС у більшій або меншій мірі інгібують фермент холінестеразу, яка є каталізатором процесу гідролізу ацетилхоліну до холіну й оцтової кислоти.



При отруєнні ФОС в організмі накопичується ацетилхолін – передавач нервових імпульсів, чим і обумовлений симптомо-комплекс отруєння.

Розрізняють чотири ступені отруєння ФОС: легкий, коли відбувається пригнічення холінестерази на 50 %, середній (пригнічення холінестерази на 60-70 %), важкий (на 80-90 %) і смертельний (95-99 %). Всі ФОС мають функціональну кумуляцію, тобто спостерігається посилення токсичної дії при повторних впливах на організм. Найбільш достовірним підтвердженням діагнозу отруєння ХОС або ФОС є результат хіміко-токсикологічного аналізу.

### **Контрольні питання до розділу 1**

1. Яке токсикологічне значення пестицидів?
2. Які критерії покладено в основу класифікації пестицидів?
3. Приведіть фізико-хімічні властивості, основні закономірності поведінки в організмі ХОС.
4. Яка токсична дія ХОС на організм?
5. Приведіть фізико-хімічні властивості, основні закономірності поведінки в організмі ФОС.
6. Яка токсична дія ФОС на організм?

## **2. МЕТОДИ ХІМІКО-ТОКСИКОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ ОБ'ЄКТІВ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ НА ХЛОРООРГАНІЧНІ І ФОСФОРОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ**

### ***Направленість аналізу***

При загальному дослідженні на невідому отруту хіміко-токсикологічний аналіз на ФОС обов'язковий, на ХОС – проводиться в тих випадках, коли є спеціальні вказівки або з'явилися якісь свідчення в процесі дослідження біологічних об'єктів, що зумовлюють необхідність аналізу на ХОС.

### ***Об'єкти дослідження на ФОС***

Об'єктами дослідження на ФОС є шлунок із вмістом, печінка з жовчним міхуром, нирка, тонкий і товстий кишечник із вмістом, кров, сеча. При інгаляційному отруєнні в усіх випадках беруть легені, а за деякими рекомендаціями і мозок.

### ***Об'єкти дослідження на ХОС***

Об'єктами дослідження на ХОС є шлунок із вмістом, печінка, нирка, мозок, жирова тканина (сальник).

### ***Терміни проведення аналізу***

Рекомендується розпочинати аналіз у день надходження об'єктів. Якщо такої можливості немає, то можна зберігати об'єкти в холодильнику до 3 діб, а після ізолювання пестицидів екстракти з ФОС – не більше 5 діб, із ХОС – 10 діб при температурі від +2 до +4 °С. Об'єкти дозволяється консервувати етанолом, рівень якого над внутрішніми органами у склянках повинен бути висотою не менше 1 см. Крім органів і біологічних рідин людини чи тварин, об'єктами аналізу на пестициди можуть бути: препарати пестицидів, продукти харчування, вода, повітря, фураж.

## ***Основні етапи хіміко-токсикологічного дослідження на пестициди***

Основними етапами хіміко-токсикологічного дослідження на пестициди є:

- відбір і підготовка проб;
- ізолювання пестицидів;
- очищення від співекстрактивних речовин;
- ідентифікація і кількісне визначення пестицидів.

Методи аналізу мають бути високочутливими і специфічними.

### ***Методи ізолювання пестицидів***

Існує велика кількість методик ізолювання пестицидів з об'єктів рослинного і тваринного походження, їх різноманітність пояснюється тим, що як об'єкти, так і аналізовані сполуки мають різні властивості. Для ізолювання пестицидів використовують методики, в основу яких покладено процес екстракції отрут органічними розчинниками (гексаном, етером, хлороформом) або метод дистиляції з водяною парою. При дослідженні об'єктів тваринного походження перед екстракцією ФОС рекомендується робити осадження білків для руйнування протеїнфосфоліпідних зв'язків і звільнення жиру, а потім екстракцію ФОС із жиру органічними розчинниками. Метод екстракції пестицидів органічними розчинниками придатний для ізолювання всіх ФОС і ХОС, метод дистиляції з водяною парою – для найбільш летких пестицидів, наприклад, гексахлорциклогексану.

### ***Методи очистки екстрактів***

Для очистки ФОС і ХОС найчастіше застосовують такі методи:

- екстракційний;
- хроматографічний;
- поєднання екстракційного і хроматографічного;
- виморожування жиру.

Інші методи, такі як перегонка з водяною парою, сублімація у вакуумі, діаліз використовуються вкрай рідко. Джоне і Рідік вивчали розподіл пестицидів між ацетонітрилом та гексаном і встановили, що

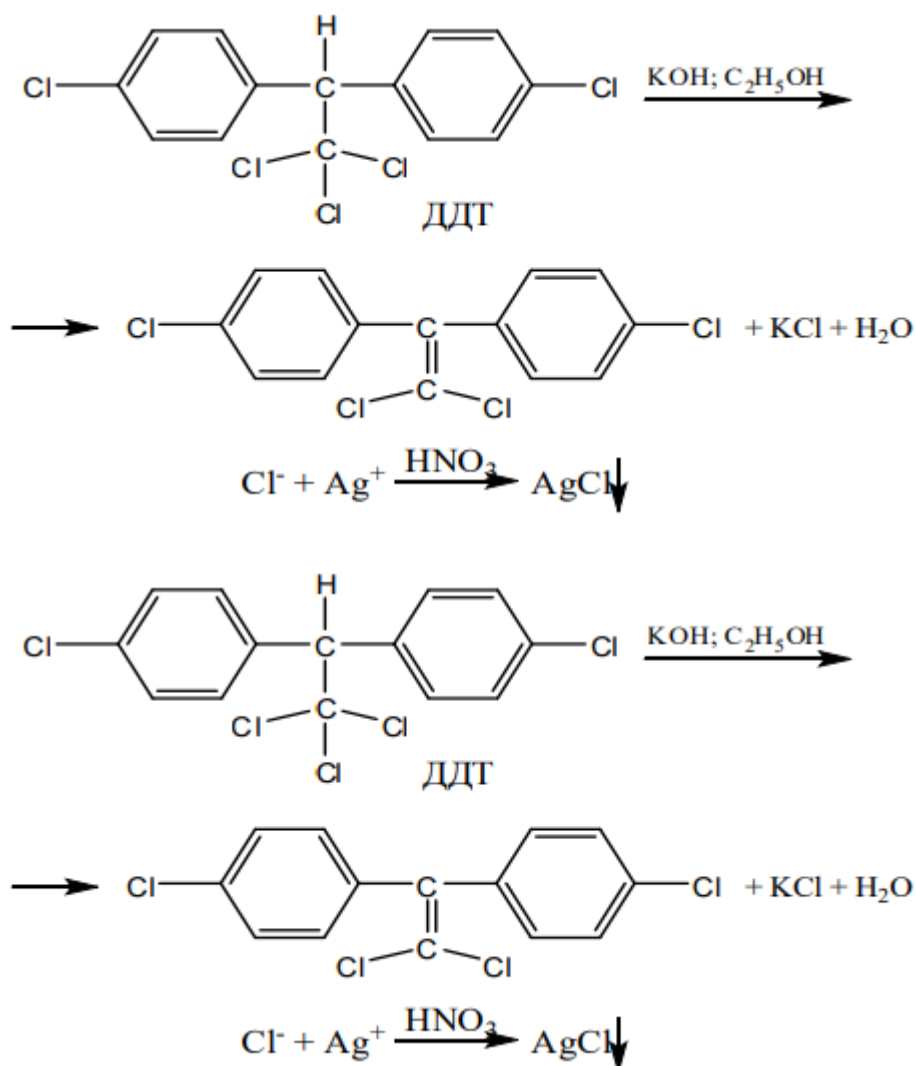
гексан і ацетонітрил є придатною системою розчинників для очищення пестицидів від суми супутніх домішок, виділених з біологічного матеріалу: жирів, восків, пігментів. Крім зазначеної системи, з метою очищення пестицидів можуть бути використані такі пари розчинників як петролейний ефір–ацетонітрил, гексан–диметилформамід. Хроматографічні методи очищення включають адсорбційну колонкову хроматографію, хроматографію на папері, у тонкому шарі сорбенту. Останній метод знайшов найширше застосування. Система з рухомою фазою гексан-ацетон у різноманітних співвідношеннях рекомендується для очистки екстрактів, що містять ФОС. На нерозчинності жирів і восків у холодному ацетоні заснований метод очищення пестицидів від зазначених речовин. Виморожені речовини відокремлюють фільтруванням, а пестицид залишається в ацетоновому фільтраті. Оцінюючи методи очистки, можна відзначити простоту і доступність екстракційного методу в поєднанні з методом хроматографії в тонкому шарі сорбенту.

### ***Методи виявлення пестицидів групи ХОС і ФОС***

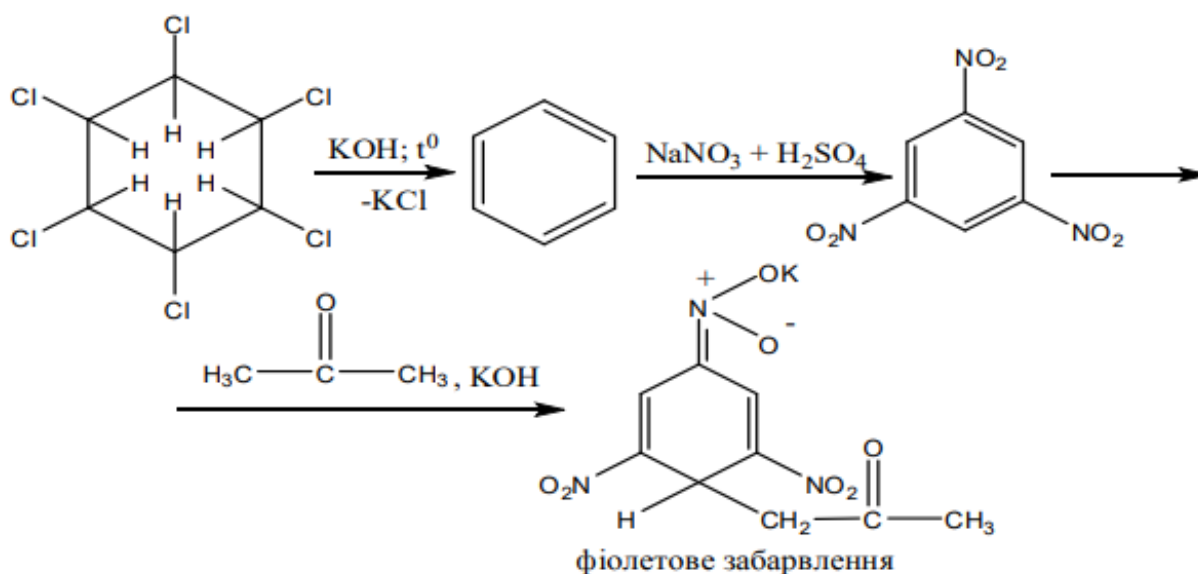
Для аналізу екстрактів використовують такі методи дослідження: хімічний, біохімічний, тонкошарової хроматографії, газо-рідинної хроматографії. Інші методи, зокрема, спектральні в УФ- та ІЧ-областях, використовують досить рідко.

### ***Хімічний метод***

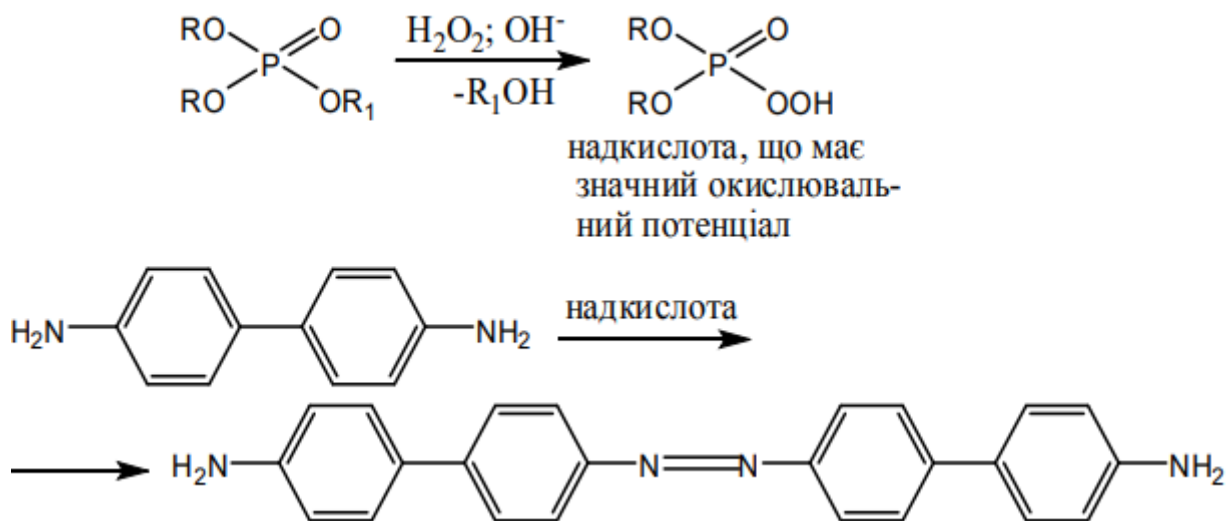
ХОС визначають за хлором – переводять ковалентно зв'язаний хлор в іонний стан, після чого виконують реакцію на хлорид-іон з аргентума нітратом в азотнокислому середовищі.



ХОС визначають за реакцією утворення аци-солі хіноїдної будови після проведення дехлорування і нітрування бензольного кільця з подальшим додаванням до м-динітробензолу краплинами ацетону і калію гідроксиду.



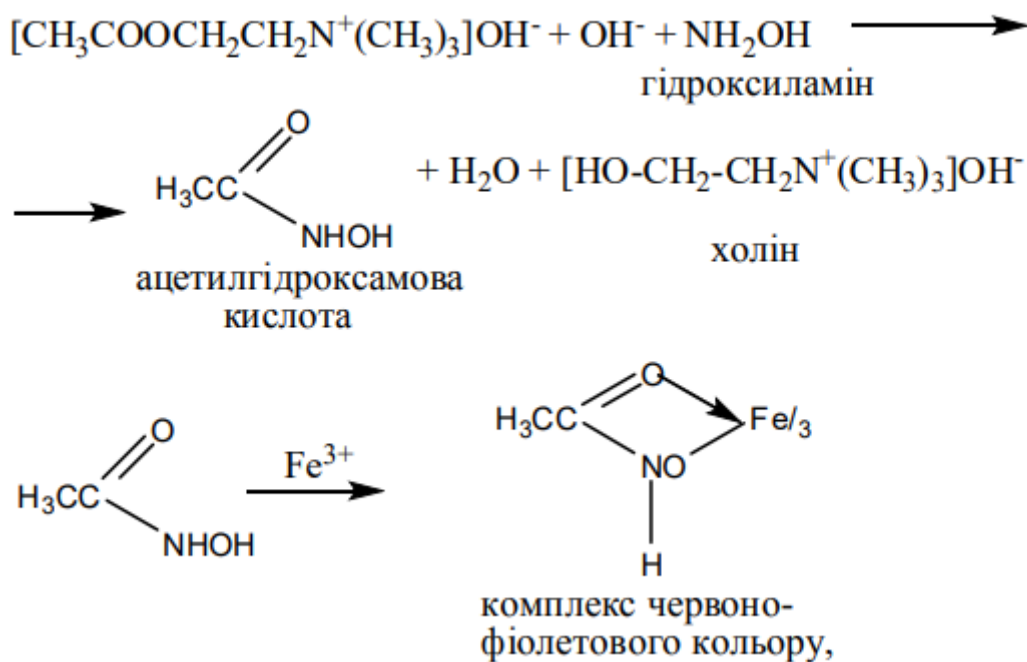
Обидві реакції неспецифічні для ХОС і не мають достатньої чутливості, щоб виявляти залишкові кількості хлорорганічних пестицидів, скажімо, у продуктах харчування. Для виявлення ФОС із хімічних реакцій найбільше практичне застосування знайшли такі реакції – на фосфор і гідроперекисна проба. ФОС за фосфором визначають після мінералізації пестицидів до фосфат-іона. Проводять реакцію з амонію молібдатом в присутності відновлювачів – утворюється фосфорно-молібденова синь. Реакція високочутлива і загальна для ФОС.  $H_7P(Mo_2O_7)_6$  – фосфорно-молібденова кислота,  $MoO_3 \cdot Mo_2O_5 + nH_2O$  – молібденова синь,  $(NH_4)_3PO_4 \cdot 12MoO_3 \cdot H_2O$  – фосфорно-молібденова синь. Другою загальною чутливою реакцією на ФОС є гідроперекисна проба.



### **Біохімічний метод**

Біохімічний метод використовується для виявлення ФОС за зміною швидкості гідролізу ацетилхоліну (можна взяти інший етер) до і після контактування з ФОС. Чим більша активність холінестерази, тим швидше йде гідроліз ацетилхоліну (при цьому більше виділяється оцтової кислоти), тим нижче буде значення рН середовища. На зміну рН середовища реагують індикатори, зокрема, бромтимоловий синій у буферному розчині. Він у присутності оцтової кислоти змінює синє забарвлення на зелене, а потім на жовте. Описано також модифікації

вказаного методу. У деяких випадках проводять виявлення не за оцтовою кислотою, а за незруйнованим ацетилхоліном, що залишився. Так поводяться при аналізі ФОС за методом Хестріна при дослідженні крові. За методом Хестріна процес, що відбувається при аналізі крові на ФОС, наступний:



Біохімічна проба є загальною для ФОС і високочутливою. Однак вона неспецифічна для зазначених сполук. Цю пробу можуть давати севін та інші речовини, що пригнічують холінестеразу. Пригнічення ферменту може спостерігатися при ряді захворювань: цирозі печінки, анемії тощо. Аналіз найкраще починати з біохімічного дослідження. У разі негативного результату – дослідження на ФОС припиняють з огляду на високу чутливість проби.

### ***Хроматографічні методи виявлення ХОС і ФОС***

Для аналізу пестицидів широко практикують *ТШХ-метод*. Він доступний, ефективний, дає можливість не тільки встановити належність досліджуваних речовин до ФОС або ХОС, але і зробити їх надійнішу ідентифікацію, включаючи нативні речовини та їх метаболіти. Розділення ХОС проводять, використовуючи різні системи розчинників і спільний проявник: водно-ацетоновий розчин срібла аміакату і УФ-випромінювання – спостерігаються сіро-чорні

плями на хроматограмах. Чутливість виявлення: 0,5-10 мкг в аналізованій пробі. Як систему для аналізу ФОС найчастіше беруть суміш гексан–ацетон (4:1 або інші співвідношення розчинників). Проявлення хроматограм проводять різноманітними реактивами:

- молібденовим (за фосфором) – утворюються сині плями на білому фоні;
- розчином 2,6-дибром-N-хлор-p-хіноніміну в циклогексані – утворюються жовті або коричневі плями при наявності сірковмісних пестицидів.

Застосовуються й інші проявники.

*Метод газо-рідинної хроматографії* для розділення та виявлення ХОС і ФОС найбільш чутливий і ефективний. При аналізі пестицидів використовують детектори:

- полум'яно-іонізаційний;
- електронозахоплюючий;
- термоіонний.

При визначенні пестицидів зазначеним методом потрібне ретельне очищення екстрактів від супутніх домішок, інакше колонка хроматографа буде швидко виведена з ладу, а на хроматограмах з'являтимуться додаткові піки. Метод ГРХ доцільніший для попереднього дослідження на ФОС або ХОС при ненаправленому аналізі, а у спрямованому дослідженні – як основний метод аналізу вказаних пестицидів. При використанні сорбенту хроматон-N-супер і електронозахоплюючого детектора за певних умов можливо визначити  $10^{-9} \div 10^{-12}$  г ФОС в аналізованій пробі.

### ***Методи кількісного аналізу ФОС і ХОС***

При виявленні пестицидів обов'язково проводиться їх кількісне визначення. Для цього вдаються здебільшого до фізико-хімічних, біохімічних методів і методу газо-рідинної хроматографії. З фізико-хімічних методів частіше застосовують фотоколориметричний метод, заснований на одержанні комплексу синього кольору з амонію молібдатом в присутності відновника після мінералізації ФОС. Біохімічні методи ґрунтуються на зміні швидкості реакції гідролізу

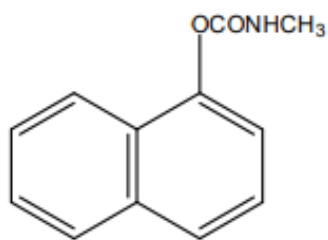
ацетилхоліну до і після контактування з ФОС або визначенні залишку ацетилхоліну, що не гідролізувався в реакції з гідроксиламіном у лужному середовищі і заліза(III) хлоридом. Останній метод високочутливий, але на відміну від хімічного визначення потребує дорогих реактивів. Метод газо-рідинної хроматографії для визначення ФОС базується на прямій залежності висоти піка від кількості естеру в аналізованій пробі. Він високочутливий і специфічний при застосуванні селективних детекторів (на фосфор), але не завжди доступний. Кількісне визначення ХОС проводять об'ємними методами (йодометричним, аргентометричним), методом ГРХ або денситометрично (ТПХ).

### ***Хіміко-токсикологічна оцінка результатів дослідження***

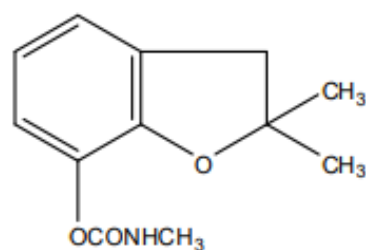
Біохімічне дослідження на ФОС одночасно із ТПХ або ГРХ дає можливість надійно визначити не тільки належність пестициду до певної групи, але й ідентифікувати конкретну речовину в об'єкті дослідження. Негативний результат аналізу не виключає можливість отруєння ФОС у зв'язку з такими явищами як природне виведення отрути з організму, руйнування отрути під дією вологи, тепла, дезінтоксикаційними засобами тощо.

### ***Методи хіміко-токсикологічного аналізу об'єктів біологічного походження на пестициди-похідні карбамінової кислоти***

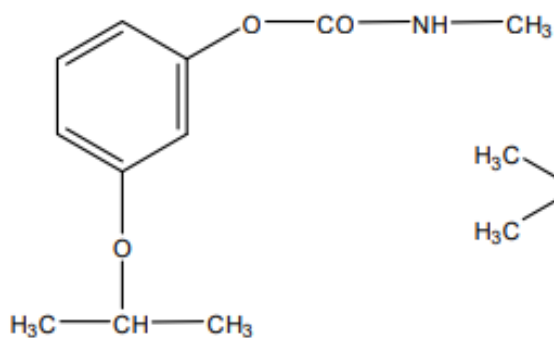
Похідні карбамінової кислоти потрібні в різних галузях народного господарства, передусім як інсектициди, акарициди, гербіциди, фунгіциди і бактерициди. Найбільше серед арилових ефірів N-метилкарбамінової кислоти відомі карбарил, карбофуран, пропексур, тиурам D і деякі інші препарати, які виробляються промисловістю у великих кількостях, зокрема, карбарил (севін).



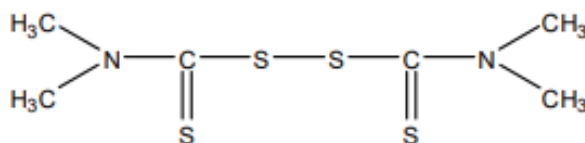
карбарил (севін)



карбофуран

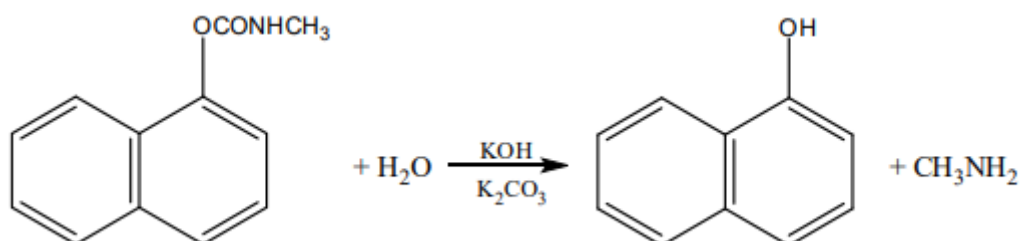


пропексур



турамін D

Характеристика карбарилу. За хімічною будовою карбарил (севін, арилат, ветокс, динаком, карбамат, карботокс, севінокс) – 1-нафтил-N-метилкарбамат. Карбарил – біла кристалічна сполука (т. пл. 142 °С) слабозчинна у воді (менше 0,1 % при 20 °С), добре розчиняється у більшості органічних розчинників. При кімнатній температурі стійкий до дії кисню повітря і світла, у лужному середовищі швидко гідролізується:



### ***Поводження карбарилу в організмі***

Карбарил швидко всмоктується в шлунку. Через 5 хв. після надходження до шлунка він з'являється у крові, а через 30 хв. спостерігається максимальне накопичення його в органах. Через 2-3 доби після потрапляння до організму карбарил у біологічному матеріалі не виявляється.

## *Метаболізм*

Основні напрями метаболічних перетворень карбарилу – це окислення та гідроліз. Основні метаболіти карбарилу: о-(4-гідроксинафтил-1)-N-метилкарбамат, о-(5-гідроксинафтил-1)-м-метилкарбамат, о-(7-гідроксинафтил-1)-м-метилкарбамат, N-гідроксиметил-о-(нафтил-1)-карбамат та нафтол-1.

### *Виділення карбарилу з біологічного матеріалу*

Для виділення карбарилу з біологічного матеріалу використовують метод, заснований на настоюванні біологічних об'єктів з бензолом. Після цього органічний розчинник відганяють до сухого залишку, який розчиняють у невеликому об'ємі етилового спирту. Отриманий розчин використовують для ідентифікації та кількісного визначення карбарилу.

Методи виявлення карбарилу. Для виявлення карбарилу використовують кольорові реакції і хроматографічні методи.

Реакція з пікриною кислотою. З 1 %-ним розчином пікринової кислоти карбарил утворює темно-жовті кристали, зібрані у пучки.

Реакція із сумішшю міді(II) хлориду і натрію броміду. При підлученні розчину карбарилу натрію гідроксидом і подальшому нагріванні розчину в пробірці на водяній бані (55 °С) з повітряним холодильником протягом 10 хв. і подальшому додаванні розчину хлористоводневої кислоти до рН 5-6 та свіжоприготованої суміші міді(II) хлориду і калію броміду (при нагріванні) – утворюється синьо-фіолетове забарвлення.

Виявлення карбарилу за допомогою ТШХ. На пластинках карбарил виявляють за реакцією утворення азобарвника (при обробці пластини розчином діазотованої сульфанілової кислоти). Карбарил утворює плями, забарвлені в червоний колір. Виявлення та кількісне визначення карбарилу методом ГРХ. Нерухома фаза ДС-550 в інтервалі температур від 140 до 160 °С у режимі програмування.

## Контрольні питання до розділу 2

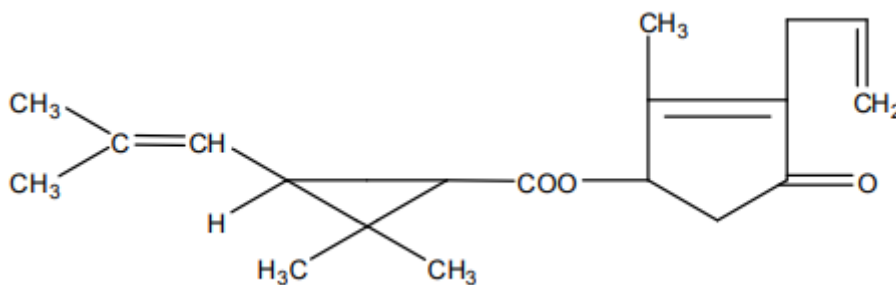
1. Що є об'єктами дослідження на ФОС та на ХОС?
2. Наведіть основні етапи хіміко-токсикологічного дослідження на пестициди.
3. Якими методами виявляють та визначають пестициди груп ХОС і ФОС?
4. У чому полягає біохімічний метод виявлення ФОС?
5. Який метод застосовують для виділення карбарилу з біологічного матеріалу?

## 3. ХІМІКО-ТОКСИКОЛОГІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ГРУПУ АЛІЦИКЛІЧНИХ КАРБОНОВИХ КИСЛОТ

### 3.1. Похідні циклопропанкарбонової кислоти – піретроїди

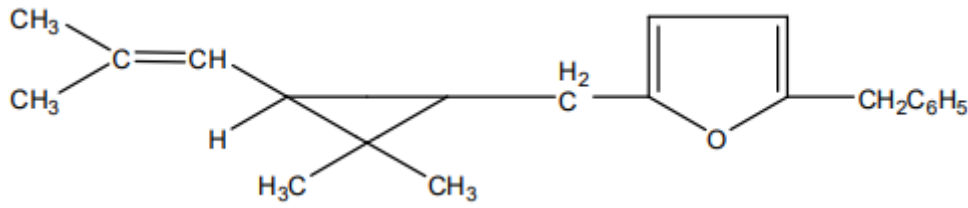
#### *Загальна характеристика піретроїдів*

З похідних циклопропанкарбонової кислоти найбільше практичне значення мають природні сполуки – піретрини та їх синтетичні аналоги. Природний піретрин з квітів ромашки далматської складається із суміші шести продуктів, які є складними естерами хризантемової або піретринової кислот та аліциклічних кетоспиртів піретролону, жасмолону та цинеролону. У промислових масштабах виробляються синтетичні аналоги піретринів (піретроци). Серед них розрізняють піретроїди першого покоління (близькі за будовою до природних, наприклад, алетрин),



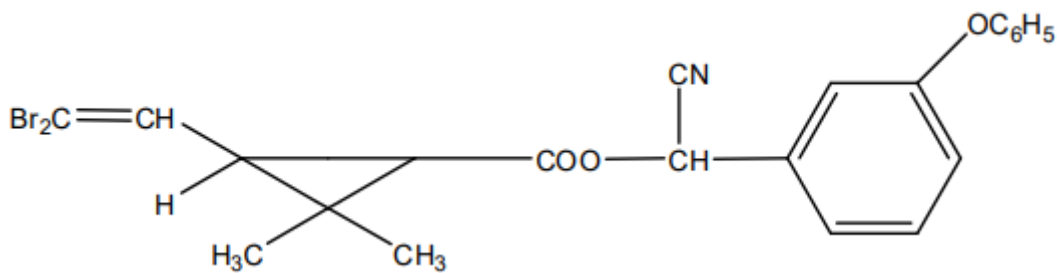
**алетрин**

піретроїди другого покоління (похідні хризантемової кислоти, наприклад, ресметрин)

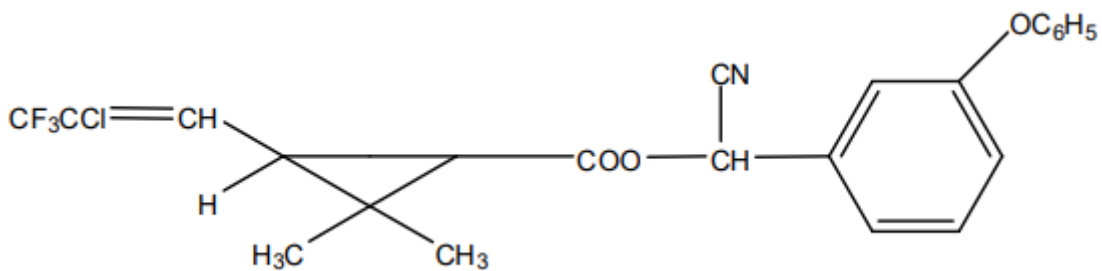


**ресметрин**

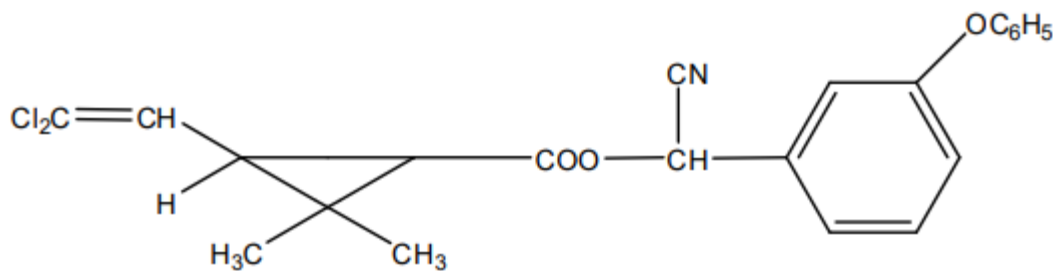
і піретроїди третього покоління (естери кислот 2-дихлоретенил-3,3-диметилциклопропанкарбонової, так званої перметринової кислоти, 2-диброметенил-3,3-диметилциклопропанкарбонової та арилізовалеріанової). Деякі найважливіші піретроїди третього покоління наведені нижче:



**децис (дельтаметрин) цис-ізомер**



**цигалотрин (карате)**



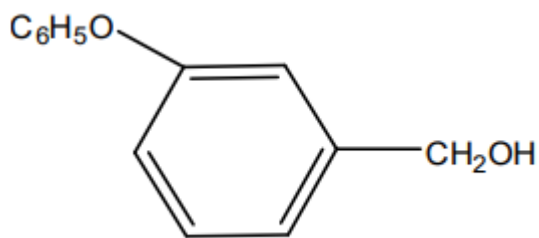
**цимбуш (циперметрин, рипкорд)**

### **Фізико-хімічні властивості**

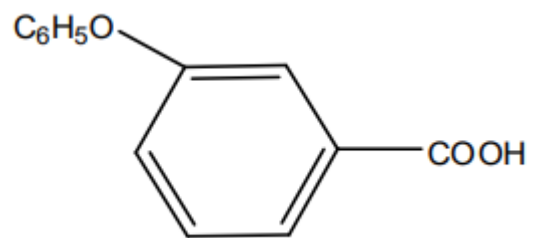
Піретроїди – тверді речовини, добре розчиняються в органічних розчинниках – ацетоні, хлороформі, гексані, бензені та ін. Препарати піретроїдів не розчинні у воді. Єдине, що обмежує використання піретринів (особливо ефірів хризантемової кислоти), – їх низька фотохімічна стабільність: під дією світла бічний ланцюжок хризантемової кислоти легко піддається окисленню з утворенням сполук, які не мають інсектицидних властивостей. Підвищену фотохімічну стійкість мають піретроїди третього покоління. Синтетичні піретроїди третього покоління виявляють високу інсектицидну активність відносно багатьох шкідливих комах, що обумовлює низьку норму витрат цих препаратів і досить помірну токсичність для теплокровних тварин. Основні закономірності поведінки в організмі. При введенні до організму тварин піретроїди надходять до жирових відкладень і мозку. З жирових тканин вони виводяться протягом 3-4 тижнів, а з мозку – значно швидше. Чим отруйніший препарат, тим швидше він виводиться з організму тварин.

### **Метаболізм**

Головним метаболітом майже усіх синтетичних піретроїдів третього покоління є м-феноксибензиловий спирт та м-феноксибензойна кислота



**м-феноксибензиловий спирт**



**м-феноксибензойна кислота**

Механізм токсичної дії піретроїдів в організмі тварин на молекулярному рівні вивчено недостатньо

### **Методи виявлення та кількісного визначення піретроїдів**

Для ідентифікації цих пестицидів найчастіше використовують метод ТШХ (хроматографія зі «свідками», проявник – розчин срібла нітрату з подальшою обробкою УФ-світлом). Піретроїди виявляються у вигляді плям сіро-чорного кольору. Для виявлення та кількісного визначення піретроїдів придатний також метод ГРХ (нерухома фаза SE-30, нанесена на хроматон N-AW. Рухома фаза – азот особливої чистоти).

### **Контрольні питання до розділу 3**

1. Приведіть хіміко-токсикологічну характеристику похідних циклопропанкарбонової кислоти.
2. Які фізико-хімічні властивості піретроїдів?
3. Приведіть методи виявлення та кількісного визначення піретроїдів.

## **4. МЕТОДИ ХІМІКО-ТОКСИКОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ ОБ'ЄКТІВ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ НА ПЕСТИЦИДИ ГРУПИ МЕРКУРІЙОРГАНІЧНИХ СПОЛУК**

До групи пестицидів меркурійорганічних сполук належать гранозан, агрозан, агронал та ін. Гранозан – це суміш, яка містить 2 % етилмеркурхлориду, 1 % барвника, 1 % мінеральної олії та наповнювач. Основною діючою речовиною є етилмеркурхлорид



Етилмеркурхлорид – біла кристалічна речовина зі специфічним запахом ( $t_{\text{пл.}} = 192,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Погано розчинна у воді, добре – у гарячому етанолі, ацетоні та 10 % розчині натрій гідроксиду. Летка речовина, може попадати у повітря у вигляді пари навіть при кімнатній температурі. Використовується для передпосівної обробки насіння зернових і технічних культур з метою боротьби з грибковими та бактеріальними захворюваннями. Описані випадки масового отруєння гранозаном після вживання насіння соняшнику, обробленого цим препаратом.

### ***Поведінка в організмі***

Етилмеркурхлорид може потрапляти до організму через ШКТ, легко проникає крізь неушкоджену шкіру та через дихальні шляхи. В організмі піддається розпаду з утворенням іонів меркурію. Накопичується у високих концентраціях і на довгий час депонується в організмі. Спостерігається матеріальний тип кумуляції (мозок). Виводиться нирками, печінкою (з жовчю), кишечником, а також з грудним молоком. Токсична дія на організм. Меркурійорганічні сполуки депонуються в головному та спинному мозку, легенях, печінці, нирках, стінках шлунка та кишечника, кістковому мозку.

*Розрізняють три стадії отруєння МОС:*

- короткочасне збудження;
- стадія адинамії, пригнічення;
- термінальна стадія (судоми, паралічі, кома, смерть). Меркурійорганічні сполуки (гранозан, церезин, абавит та ін.) належать до особливо токсичних речовин. Вони більш токсичні, ніж меркурійхлорид (сулема) та інші неорганічні сполуки меркурію. Смертельною дозою є 0,2-0,4 г; LD<sub>50</sub> 50-70 мг/кг. Пари гранозану значно токсичніші, ніж пари меркурію. ГДК складає 0,005 мг/м<sup>3</sup>

### ***Механізм токсичної дії***

Меркурійорганічні сполуки здатні блокувати активні групи білків – ферментів і структурних білків. Найбільше значення має блокування сульфгідрильних (тіолових) груп, які забезпечують активність понад 50 % білків-ферментів. У результаті цього спостерігається глибоке порушення обмінних процесів. Уражаються центральна нервова система, ШКТ, нирки, серцево-судинна система. Симптоми отруєння. Ураження при надходженні через ШКТ проявляються у вигляді нудоти, болю при ковтанні, металічного смаку у роті, болями у животі. У важких випадках – пронос, шлункові та кишкові кровотечі. При інгаляційних отруєннях гранозаном спостерігається збудливість, безсоння, роздратування, ускладнення при ковтанні. При попаданні на шкіру з'являються виразки, запальний інфільтрат.

### ***Невідкладна допомога***

Проводять промивання шлунка зі введенням 50-100 мл 5 % розчину унітіолу через зонд на початку і в кінці промивання для зв'язування отрути, яка не всмокталася. Шлунок необхідно промивати 2-3 рази на добу. Призначають натрій тіосульфат – 10-20 мл 30 % розчину внутрішньо, форсований діурез, гемодіаліз. Засоби застереження – при використанні препарату слід запобігати потрапляння його на шкіру і особливо в очі, у випадку такого потрапляння – терміново змити великою кількістю води.

### ***Зберігання***

В металевій тарі етилмеркурхлорид зберігається практично необмежений час.

### ***Ізолювання етилмеркурхлориду з біологічного матеріалу***

Ізолювання базується на виділенні етилмеркурхлориду 3-9 М розчином кислоти хлоридної та екстракції хлороформом, після чого отриманий екстракт використовують для ідентифікації та кількісного визначення етилмеркурхлориду.

### ***Методи виявлення етилмеркурхлориду***

Для виявлення етилмеркурхлориду використовують кольорові реакції і хроматографічні методи.

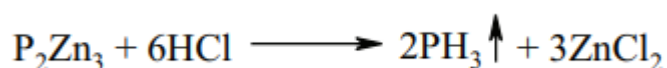
1. Проба з мідним дротом – базується на здатності металічної міді витіснити меркурій з етилмеркурхлориду. Спостерігається червоне або жовто-червоне забарвлення.
2. Виявлення етилмеркурхлориду за допомогою ТШХ базується на переведенні етилмеркурхлориду у дитизонат та наступному виявленні етилмеркурхлориду дитизонату. Як розчинник використовується н-гептан-хлороформ (2:5). При наявності етилмеркурхлориду дитизонату на пластинці виявляються жовті плями.

### ***Контрольні питання до розділу 4***

1. Які пестициди належать до групи меркурійорганічних сполук?
2. Приведіть поведінку в організмі та механізм токсичної дії меркурій-органічних сполук.
3. Які методи застосовуються для виявлення етилмеркурхлориду?

## 5. НЕОРГАНІЧНІ ПЕСТИЦИДИ. ФОСФІД ЦИНКУ

З неорганічних сполук фосфору практичне значення як пестициди мають фосфіди цинку, алюмінію і магнію. Фосфід цинку – це темно сірий порошок, що містить 18-24 % фосфору і 70-80 % цинку. Нерозчинний у воді, спирті, слабо розчинний у лугах і оліях, дуже добре розчиняється у кислотах (з розкладанням). Стійкий у сухому вигляді, але під дією світла і вологи повільно розкладається. Випускається у вигляді порошку, таблеток і паст для приготування приманок для боротьби з дрібними гризунами. Його дія на гризунів обумовлена утворенням у шлунку під дією хлоридної кислоти фосфіну ( $\text{PH}_3$ ).



Смертельна доза для людини не встановлена.  $\text{LD}_{50}$  для білих мишей – 5 мг/кг, для щурів – 30-40 мг/кг. ГДК у повітрі робочої зони – 0,1 мг/м<sup>3</sup>. Залишковий вміст у продуктах харчування не допускається. Заборонений випас великої рогатої худоби 15 днів після застосування препарату.

### *Об'єкти хіміко-токсикологічного дослідження на фосфід цинку*

Об'єктами хіміко-токсикологічного дослідження на фосфід цинку є шлунок зі вмістом і кишечник, у якому ця речовина може знаходитись частково у нативному стані. Для ізолювання подрібнений об'єкт поміщають у колбу, змішують з дистильованою водою, підкислюють 10 % розчином кислоти сульфатної і відразу переганяють. Приймачами служать послідовно з'єднані 4-5 колб. Перша колба містить 25-30 мл, а наступні по 5-10 мл бромної води. Перегонку проводять повільно. Ознакою взаємодії фосфіну з бромною водою є утворення важкого білого туману, що швидко осідає. Бромна вода при цьому частково знебарвлюється. Повного знебарвлення допускати не можна. Відсутність над рідиною білих газоподібних продуктів протягом 3–5 хв свідчить про повноту відгонки. Дистиляти з усіх приймачів зливають разом і випарюють

досуха на водяній бані. Сухий залишок розчиняють у 5 мл води і досліджують на фосфатну кислоту реакціями з амоній молібдатом у кислоті нітратній (жовтий осад), з молібденовою синню (реактив Деніже) – сине забарвлення. Ці реакції у поєднанні з дистиляцією дозволяють зробити висновок про виявлення у досліджуваній пробі летких сполук фосфору.

### **Контрольні питання до розділу 5**

1. Надайте хіміко-токсикологічну характеристику фосфіду цинку.
2. Що є об'єктами хіміко-токсикологічного дослідження на фосфід цинку?
3. Чим обумовлена дія фосфіду цинку на гризунів?

## **6. ЗАБРУДНЕННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ ПЕСТИЦИДАМИ**

Порушення гігієнічних норм зберігання, транспортування і застосування пестицидів призводить до їх нагромадження у навколишньому середовищі. Пестициди мігрують по ланцюгу: повітря – ґрунт – рослини – тварини – людина. Тому потрапляння пестицидів в організм людини можуть бути пряме і не пряме – по харчових ланцюгах. Харчові продукти як кінцева ланка цього ланцюга підлягають суворому санітарно-гігієнічному контролю. Для попередження і профілактики отруєння забрудненими пестицидами продуктів встановлюють безпечні терміни збирання рослин після обробки їх пестицидами, забою тварин. Основний фактор, який впливає на цей термін – стійкість отруйної речовини у зовнішньому середовищі, рослинних і тваринних організмах. Встановлено допустимі добові дози (ДДД) надходження пестицидів в організм відносно маси тіла людини, а також максимально допустимий рівень (МДР) у навколишньому середовищі і продуктах харчування.

**Допустимі добові дози надходження пестицидів в організм людини  
(у мг/кг маси тіла)**

<b>Пестицид</b>	<b>ДДД</b>	<b>Пестицид</b>	<b>ДДД</b>
Діацинон	0,002	Метилпаратіон	0,001
Диметоат	0,002	Трихлорфон	0,005
Мелатіон	0,002	Фенітротіон	0,005
Фоздрин	0,0015	Фозалон	0,006

За хімічною природою найбільш розповсюджені фосфорорганічні, хлорорганічні пестициди, препарати міді, ртуті, сірки, карбамати, піретроїди та інші. Хлорорганічні пестициди найбільше використовуються в сільському господарстві. Вони дуже добре акумулюються в організмі і деякі з них досить стійкі. Найвідоміший із цих сполук інсектицид ДДТ (дихлородифенілтрихлорометилметан). Застосування ДДТ з середини ХХ ст. різко підвищило сільськогосподарське виробництво і дало змогу здійснити «зелену революцію» в країнах Латинської Америки та Південно-Східної Азії. Однак незабаром з'явилися дані про те, що деякі комахи набули стійкість до ДДТ, почали гинути деякі види комахоїдних птахів, бджоли, підвищений уміст препарату стали виявляти в тканинах риб, в печінці пінгвінів і навіть у жіночому молоці. З'ясувалося, що ДДТ є хімічно стійкою сполукою з періодом природного напіврозпаду 49 років, він тривалий час у незміненому вигляді перебуває в ґрунті, воді, ланцюгах живлення. Потрапляючи у великих дозах до організму людини ДДТ нагромаджувався у тканинах і спричиняв захворювання нервової системи, серця, печінки. Отже, ДДТ виявився токсичним стійким пестицидом із вираженою кумулятивною дією. Через небезпечність для здоров'я людини цей пестицид було заборонено практично в усіх країнах світу.

Фосфорорганічні пестициди швидко розпадаються під впливом факторів зовнішнього середовища (світла, температури, у кислому середовищі) і руйнуються при тепловій обробці. При дотриманні правил використання отруїтись ними не можливо, тому вони досить

широко використовуються у сільському господарстві. Більшість фосфорорганічних сполук характеризуються кумулятивним ефектом і тому можуть становити небезпеку для здоров'я людини. Токсичність цих сполук зумовлена тим, що вони пригнічують діяльність ряду ферментів, порушують функцію центральної нервової і серцево-судинної системи.

З ртутьорганічних сполук для протравлення насіння використовуються гранозан і меркуран. Вони стійкі, леткі, високотоксичні. Неорганічні препарати, до складу яких входять Cu, S, P та інші використовуються для захисту плодкових культур. Сполуки, які містять Cu (сульфат міді, мідний купорос, бордоська рідина, купронафт) широко використовуються для захисту садів, виноградників. Це дуже токсичні препарати, особливо мідний купорос, який при потраплянні в організм викликає отруєння, що характеризується металевим присмаком в роті, нудотою, блюванням, болем в животі, діареєю.

При обробці рослин пестициди концентруються в місцях стікання їх з листя та в основі стебла, на плодах, біля черешка, в чашечці та шкірці. У зовнішньому листі капусти їх менше, у качані – у 2,5-10 разів більше. У шкірці огірків, у верхній лусці цибулі пестицидів у 3-4 рази більше, ніж в центральній частині плодів. Будова і склад кутикули такі, що вона забезпечує природний захист внутрішньої частини, м'якоті фруктів і овочів.

Залишки пестицидів у борошні вищого сорту у 20 разів нижчі, порівняно із зерном. Проте у першому і другому сортах борошна кількість пестицидів зростає відповідно до збільшення у ньому залишків оболонки зернівки. Температура випікання і процес ферментації хліба суттєво не впливають на залишок пестицидів. Останні є інгібіторами ферментативного процесу, пригнічують розвиток дріжджів при виробництві хлібобулочних виробів.

Організм тварин є своєрідним фільтром пестицидів. Залишковий вміст цих сполук залежить від виду тварин, від будови травної системи і насамперед від властивостей хімічних сполук, з яких складаються пестициди. Фосфорорганічні та хлорорганічні

інсектициди й акарициди, потрапляють в організм тварин і через шкіру, а також дихальні шляхи, коли їх застосовують проти мух, комарів та інших паразитуючих комах. Майже всі фосфорорганічні пестициди нестійкі, тому в організмі тварини швидко розкладаються і рідко можуть перейти у молоко, м'ясо. Хлорорганічні пестициди, потрапляючи в організм тварин, повільно змінюються й кумулюються в жирових запасах, де затримуються протягом місяців і навіть років. Вони практично постійно присутні в організмі тварин, а також безперервно виділяються з нього з молоком.

Специфічна локалізація і спосіб зв'язування молекул пестицидів з різними структурними компонентами, які входять до складу харчових продуктів, істотно впливають на характер та ступінь їх перетворення та перерозподілу у процесі технологічної та кулінарної обробки.

Міграція їх стосується розподілу між фракціями харчового продукту. У деяких випадках основна кількість пестициду із сировини переходить у харчовий продукт. Прикладом є вища концентрація хлорорганічних інсектицидів у маслі та олії порівняно з молоком і насінням, з яких їх виробляють. Жиророзчинні пестициди при центрифугуванні молока концентруються у сметані та маслі, водорозчинні в основному переходять у знежирене молоко і маслянку. Зниження концентрації залишків пестицидів під час зберігання харчової сировини, або готової продукції відбувається переважно за рахунок деградації сполук. Суттєво, що кінцеві метаболіти у цьому випадку мають бути менш токсичні і цілком безпечні.

Залишкова кількість пестицидів у оболонці та поверхневих шарах харчових продуктів рослинного походження можуть бути знижена під час кулінарної і технологічної переробки. При митті овочів і фруктів вміст цих сполук, за даними різних дослідників, знижується на 25-80 %, залежно від виду плодів.

Оскільки температура плавлення, кипіння і розпаду більшості пестицидних речовин значно вища за 100 °С, тому ефект зниження вмісту цих сполук при тепловій обробці харчових продуктів незначний. Кількість деяких пестицидів може бути зменшена шляхом

випаровування. При різних способах висушування, залежно від леткості пестициду, їх вміст знижується на 15-20 % від початкової концентрації.

Отже, ефект зниження пестицидів має конкретне і специфічне значення для кожного окремого випадку. Ряд фізико-хімічних процесів, таких як сатурація у виробництві цукру, дистиляція при одержанні спирту і ефірних масел, сприяють повному очищенню кінцевих продуктів від пестицидів. При накопиченні пестицидів у харчовій сировині понад норму її додають до незабрудненої, переробляють на консерви, крохмаль, кондитерські вироби, або застосовують як посівний матеріал.

### **Контрольні питання до розділу 6**

1. По якому ланцюгу відбувається міграція пестицидів?
2. Які допустимі добові дози надходження пестицидів в організм людини?
3. Які пестициди є найбільш розповсюдженими?
4. Як впливають на організм пестициди різних класів?
5. Яким чином може бути зменшена залишкова кількість пестицидів в харчовій продукції?

## 7. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боечко Ф. Ф., Назаренко Н. В. Харчова хімія : навчальний посібник. Черкаси, 2017. 236 с.
2. Дубініна А. А. Токсичні речовини і методи їх визначення. А. А. Дубініна та ін. Х. : ХДУХТ, 2016. 106 с.
3. Аналітична токсикологія : навч. посіб. для студентів вищ. навч. закл. С. В. Баюрка, В. С. Бондар, С. І. Мерзлікін та ін. Харків : НФаУ : Золоті сторінки, 2017. 384 с.
4. Токсикологічна хімія : навч.-метод. посіб. для студентів фармац. ф-ту заочної форми навчання. уклад. О. І. Панасенко та ін. Запоріжжя : ЗДМУ, 2015. 235 с.
5. Фітофармакологія: Підручник. М. Д. Євтушенко, Ф. М. Марютін, В. П. Туренко та ін. ; за ред. професорів М. Д. Євтушенка, Ф. М. Марютіна. К. : Вища освіта, 2004. 432 с.

*Навчальне видання*

**ЕКОТОКСИКОЛОГІЯ  
ХІМІКО-ТОКСИКОЛОГІЧНА  
ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕСТИЦИДІВ**

**ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до курсу «Екотоксикологія»  
для студентів факультету хімії та фармацевції**

**Електронне практичне видання**

***Укладачі:***

**Щербакова Тетяна Михайлівна**

**Гузенко Олена Михайлівна**

**Рахлицька Олена Михайлівна**

*В авторській редакції*

Затвердж. авт. 04.12.2023. Шрифт Times New Roman.  
Системні вимоги: операційна система сумісна з програмним  
забезпеченням для читання файлів формату PDF.  
Обсяг 1,3 МБ. Зам. № 2711.

Видавець і виготовлювач  
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.  
65082, м. Одеса, вул. Єлісаветинська, 12, Україна  
Тел.: (048) 723 28 39, e-mail: druk@onu.edu.ua