

ТОКСИЧНИЙ ВПЛИВ ПЕСТИЦИДІВ НА БІОТУ ПРІСНИХ ВОДОЙМ (ОГЛЯД)

Н. Л. Колесник, kolesnik@if.org.ua, Інститут рибного господарства НААН, м. Київ

Мета. Дослідити наукові джерела щодо токсичних та летальних концентрацій пестицидів для біоти прісних водойм (фіто- та зоопланктону, зообентосу та риби).

Результати. Огляд наукових праць показав, що пестициди різного хімічного походження згубно діють на всіх без винятку представників біоти прісних водойм. У статті висвітлено особливості токсичної дії пестицидів основних хімічних груп, які використовуються або зберігаються в Україні. Розглянуто їх токсичні та летальні концентрації для основних видів фіто- та зоопланктону, зообентосу та іхтіофауни водойм. Наведено основні особливості поведінкових реакцій гідробіонтів різних угруповань під час отруєння пестицидами. Зазначені основні структурні та системні порушення гомеостазу організмів біоти.

Практична значимість. Масив узагальненої інформації щодо токсичної та летальної дії пестицидів буде важливим для науковців, які досліджують біологічну небезпеку застосування пестицидів, їх вплив на основні угруповання біоти прісних водойм, в цілому для проведення іхтіотоксикологічних та екологічних досліджень. Дані про особливості токсичного впливу пестицидів на риб є актуальним в умовах постійно зростаючого попиту на рибну продукцію.

Ключові слова: прісні водойми, гідробіонти, фіто- та зоопланктон, зообентос, іхтіофауна, пестициди, фунгіциди, молюскоциди, альгіциди, іхтіоциди, хлорорганічні сполуки, фосфорорганічні сполуки, високотоксичні сполуки.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ. МЕТА РОБОТИ

Застосування пестицидів для боротьби зі шкідливими організмами є невід'ємною складовою частиною сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур. Тому багаторічне їх використання на величезних територіях призвело до масштабного забруднення навколишнього середовища. Варто відзначити, що останнім часом популяризується органічне землеробство, але воно є швидше віянням модних тенденцій, ніж виходом із ситуації. Землеробство без пестицидів можливе лише у високорозвинених країнах, та навіть там не здатне забезпечити всіх потреб населення [1]. Крім того, варто зазначити, що багато заборонених для використання речовин у великих кількостях зберігаються з порушенням строків чи умов, поступово проникаючи в навколишнє середовище, у тому числі і в прісні водойми [2, 3].

Взаємодія пестицидів з навколишнім середовищем проявляється у формі процесів розподілу, нагромадження (акумуляції), перетворення (трансформації, метаболізму), деградації (деструкції, мінералізації) і міграції сполук. Основними процесами метаболізму пестицидів у рослинах та ґрунті є окислення, відновлення, ефірний гідроліз, гідроксилування ароматичного кільця та його розрив тощо. При надходженні в ґрунт пестициди зв'язуються з органічною речовиною,

© Н. Л. Колесник, 2015



перерозподіляються за профілем, трансформуються і мінералізуються під дією ґрунтової мікрофлори. Всі пестициди під впливом абіотичних та біотичних чинників розкладаються до нескладних сполук: води, вуглекислого газу тощо, які потім включаються у загальний кругообіг елементів. Певна частина пестицидів поглинається рослинністю, виноситься поверхневим та ґрунтовим стоком, що зумовлює їх надходження у водні джерела, а потім і в донні відклади. Міграція токсичних речовин в екологічних системах і харчових ланцюгах призводить до нагромадження залишкових кількостей пестицидів у природних об'єктах.

Метою даної роботи було дослідження масиву наукової інформації щодо токсичних та летальних концентрацій пестицидів для біоти прісних водойм (фіто-, зоопланктону, зообентосу та риби).

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ. ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Зообентос. Порівняно з зоопланктоном або іхтіофауною прісних водойм, вплив пестицидів на представників зообентосу досліджений мало. Відомо, що на присутність пестицидів угруповання бентосних спільнот реагує зміною видового складу, числа зареєстрованих видів, чисельності та біомаси загального зообентосу та окремих систематичних груп донних безхребетних. Загалом, дослідниками встановлено високий рівень залежності структурних характеристик угруповань бенталі від гідрохімічних показників прісної водойми. Так, встановлено кореляцію біомаси зообентосу та індексу Є. В. Балушкіної (заснований на співвідношенні чисельності підродин хірономід *Tanypodinae*, *Chironomidae*, *Orthoclaadiinae* та *Diamesinae*) з концентраціями сполук поліютантів у ґрунті. Найбільшу чутливість до забруднення донних відкладів виявляють червононогі молюски (*Gastropoda*) та личинки волохокрильців (*Trichoptera*) [4, 5]. Механізм згубної дії різних пестицидів залежно від їх хімічної природи вкрай різноманітний: вони пригнічують дихання внаслідок блокування реакцій з перенесенням електронів, порушують пропускну здатність мембран, інгібують синтез білка та хітину. При впливі пестицидів на зообентос спостерігається три характерні фази — після порушення певного процесу в організмі настає загальний стресовий стан, за яким йде загибель [6, 7]. Зупинимось на кількох групах пестицидів, особливо небезпечних саме для представників зообентосу.

Стробілурини — відносно нова (перші препарати з'явилися на світовому ринку в 1996 році) група фунгіцидів 4-го покоління. Їх дія заснована на інгібуванні мітохондріального дихання шляхом блокування переміщення електронів в цитохромах. В наш час стробілурини застосовують для боротьби майже з усіма поширеними грибковими захворюваннями культурних рослин у всіх країнах світу. На українському ринку представлені одно- та двокомпонентні фунгіцидні препарати з наступними діючими речовинами класу стробілуринів: азоксистробін ($C_{22}H_{17}N_{33}O$), трифлоксистробін ($C_{20}H_{19}F_3N_2O_4$), крезоксим-метил ($C_{18}H_{19}NO_4$), піраклостробін ($C_{19}H_{18}ClN_3O_4$), димоксистробін ($C_{18}H_{16}F_3NO_4$). Для зообентосу гостра токсичність стробілуринів зростає від азоксистробіну до особливо небезпечного димоксистробіну [1, 8–10].

Похідні триазинів (1,2,4-триазинони та 1,3,5-триазинони) одержують з хлористого ціануру заміщенням атомів хлору різними функціональними групами.



Більшість з них — це гербіциди ґрунтової дії. Їх токсичний вплив на представників бентофауни проявляється за концентрацій понад 20 мг/л, а концентрації понад 50 мг/л є летальними (в залежності від виду) [1, 11].

Бензimidазоли є одними з перших системних фунгіцидів, втім, використовуються і в даний час. Зокрема, в Україні широко поширені карбендазим ($C_9H_9N_3O_2$) та його аналог — дерозал, діючі речовини пестицидів цього класу. Вони відрізняються своєю доступною ціною та високою ефективністю у боротьбі з низкою захворювань культурних рослин, в першу чергу, з борошнистою росою. В першу чергу вони негативно впливають на представників класів малощетинкових червів або олігохет (*Oligochaeta*), в'ячистих червів, або турбеларій (*Turbellaria*), п'явок (*Hirudinea*) та деяких ракоподібних (*Crustacea*). Однак, слід зазначити, що своєрідним виключенням є представники класу черевоногих молюсків: при потрапленні карбендазиму у водойму їх чисельність до певної межі зростає [12].

Хлорорганічні сполуки (ХОС) — галопохідні поліциклічних та аліфатичних вуглеводнів. Хоч деякі з них заборонені на законодавчому рівні у всіх країнах світу, але через високу персистентність та здатність накопичуватись у донних відкладах варто про них згадати. Зокрема, виявлено, що у представників зообентосу концентрація ХОС завжди набагато більша, ніж у навколишньому середовищі — воді та ґрунті. Наприклад, коефіцієнт акумуляції ХОС у ґрунті становить 100, а у зообентосі — близько 300 [13–16].

Сумнозвісний ДДТ ($C_{14}H_9Cl_5$) — класичний приклад інсектициду, синтезований у 1873 р. австрійським хіміком Отмаром Цайдлером, зараз на законодавчому рівні заборонено використовувати в Україні. Втім, хоча б через велику кількість його аналогів, варто відзначити його токсичну дію на зообентос. Зокрема, личинки хірономід (*Chironomidae*) гинуть за концентрації ДДТ понад 0,004 мг/л, а личинки комах одноденок (*Ephemeroptera*) за концентрацій понад 0,002 мг/л [2, 4].

Гексахлорциклогексан або гексахлоран ГХЦГ ($C_6H_6Cl_6$), також відноситься до групи ХОС. Зараз його використання в Україні заборонено, однак за часів Радянського Союзу були створені великі запаси цього інсектициду та акарициду, тому зберігається ризик його просочування у воду. З представників зообентосу до нього найбільш резистентні молюски (*Mollusca*), олігохети (*Oligochaeta*) та личинки комарів-дзвінців, або хірономід (*Chironomidae*); для цих трьох груп летальна концентрація становить 2 мг/л. Порівняно резистентними є п'явки та черевоногі молюски, або равлики: для них стерпна його концентрація у воді до 0,5 мг/л. Чутливими до гексахлорану є личинки, або німфи, бабок (*Odonata*) — для них летальна концентрація становить, в залежності від виду 0,08–0,20 мг/л. Найбільшу шкоду він завдає ракоподібним, які витримуть концентрацію до 0,05 мг/л, зокрема водяний віслучок (*Asellus aquaticus* L.) гине вже за концентрації 0,025 мг/л [2, 5, 6, 13].

Поліхлорпінен, або ПХП ($C_{10}H_{11}Cl_7$), є іхтіоцидом, що широко застосовується за радянських часів в аквакультурі. Сила його токсичного впливу суттєво варіює в залежності, в першу чергу, від концентрації, як у воді та ґрунті, так і в організмі. Також велике значення має вид представника фауни бенталі та температура води. Навіть після незначного потраплення ПХП у водойму, спостерігається зменшення



розчиненого у воді кисню, що призводить до переміщень донних організмів, угруповання зообентосу демонструє кількісні та якісні зміни, а за концентрації від 0,09 мг/л починається їх вимирання. В першу чергу гинуть личинки метеликів, волохокрильців та ракоподібні — водяний віслючок вже за концентрації ПХП 0,03 мг/л гине через 10 днів. Більш резистентними є олігохети, гастроподи і личинки хірономід, найбільш резистентними — червоногий моллюск п'явушник звичайний, який живе 10 діб за концентрації ПХП 2 мг/л, та малошетишкові черви, які здатні витримувати концентрацію ПХП 2,5 мг/л до 15 діб. Варто відзначити, що у личинок хірономід за концентрації цього іхтіоциду понад 0,15 мг/л стрімко підвищується споживання кисню. Загалом, за концентрації у водоймі ПХП понад 0,26 мг/л, більшість представників зообентосу, які є кормом для риб, гине. Звичайно, відновлення біоценозу бенталі відбувається зворотнім чином — більш резистентні види повертаються першими. З літератури відомо, що поліхлорпінен має більшу токсичність, ніж гексахлоран, однак токсичний ефект на представників зообентосу останнього проявляється швидше [13–15, 18].

Дихлорсаліциланілід ($C_{13}H_9Cl_2NO_2$) розроблений спеціально для боротьби з представниками малакофауни (моллюскоцид) і застосовується для протистояння обростанню гідроспоруд та перенесенню збудників хвороб риб. Він був розроблений у науково-дослідному Інституті хімічних засобів захисту рослин, шляхом прямого хлорування саліциланіліду. Токсичність цього препарату для червоногих моллюсків на прикладі великого та малого п'явушників була детально описана І. В. Каменським, зокрема, летальною була визначена концентрація 1:100000 [1, 13, 14–16].

Зоопланктон є одним з найважливіших компонентів водних екосистем та може використовуватись як індикатор їх стану. Планктонні ракоподібні є основними споживачами первинної продукції і, в той же час, кормовою базою для багатьох видів риб. За чисельністю в прісних водоймах зазвичай переважають гіллястовусі ракоподібні, або кладоцера (*Cladocera*), які є найбільш вразливою групою серед зоопланктонних організмів за інтоксикації пестицидами [7, 19]. Розглянемо детальніше вплив найбільш актуальних для соціально-економічних умов України пестицидів на зоопланктонні організми.

Стробілуринові фунгіциди почали застосовуватись в Україні в 2000-их роках. Вони є ще мало вивченими, більшість досліджень проводилась за використання гіллястовусих ракоподібних — дафній (*Daphnia magna* Straus, *D. pulex* De Geer та *D. longispina* O. F. Muller). Є. А. Федоровою виявлено, що димоксистробін та флуоксистробін відносяться до особливо токсичних пестицидів для дафній (ЛК50 < 0,5 мг/л). Хронічна інтоксикація стробілуриновими фунгіцидами може змінити народжуваність дафній шляхом зниження їх плодючості (за рахунок збільшення часу дозрівання і зменшення кількості приплодів) або викликає зниження виживання яєць та молоді, чи поєднанням цих дій. У *D. magna* за концентрації понад 0,00005 мг/л для флуоксистробіну та 0,0005 мг/л для димоксистробіну знижується плодючість у чотирьох поколіннях, чисельність і біомаса популяції [8–10, 20].

Фунгіцид дерозал, аналог карбендазиму ($C_9H_9N_3O_2$), про який було зазначено вище, залежно від своєї концентрації, має різну токсичну дію на представників зоопланктону. Зокрема, за концентрацій понад 100 мг/л його негативний вплив незначний, а за концентрацій понад 100 мг/л відмічається скорочення чисельності



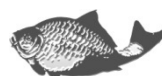
популяцій веслоногих ракоподібних (*Copepoda*), та загибель гіллястовусих ракоподібних (*Cladocera*) [12, 20].

Похідні сульфенілсечовини зазвичай використовуються як альгіциди, зокрема з метою припинення масового розвитку синьозелених водоростей (*Cyanobacteria*) і уникнення явищ задухи. Їх сполуки вирізняються тим, що планктонні організми намагаються до них адаптуватись. М. Л. Підгайко, Е. П. Щербань та інші відзначали, що через 2–3 доби після першого застосування відмічається масова загибель зоопланктону, однак, приблизно через 7 діб його чисельність досягає тих значень, які були до використання цих речовин. Адаптивні здібності краще виражені у копепод (*Copepoda*) і коловерток (*Rotifera*, *Rotatoria*), гірше — у кладоцер (*Cladocera*). Порівняно високою резистентністю до похідних сульфенілсечовини відрізняються *D. magna* Straus, *D. longispina* O. F. Muller та *Moina macrocopa* Straus. Найбільш чутливими є *Scapholeberis mucronata* O. F. Muller та *Ceriodaphnia quadrangula* O. F. Muller і деякі інші [7, 13, 19].

Для похідних триазинів (1,2,4-триазинонів та 1,3,5-триазинонів) притаманна здатність до акумуляції у організмах зоопланктону та мулі, що провокує вторинне забруднення водойм. Л. П. Брагинський, вивчаючи токсичну дію цих сполук і відзначав, що атразин починає токсично діяти на дафній (*Daphnia*) за концентрації 0,2–0,5 мг/л. Масова ж смертність представників зоопланктону відмічена за концентрацій понад 2 мг/л [5, 15].

Хлорорганічні сполуки (ХОС), хоча мають багато недоліків і не рекомендовані до використання багатьма конвенціями ще у 80-х роках, однак і в наш час знаходять своє застосування як інсектициди, акарициди та фунгіциди. Зокрема, дозволені для застосування такі препарати як гексахлорциклогексан (ГХЦГ), гамма-ізомер ГХЦГ (ліндан), гексахлорбутадієн (ГХБД), дилор, мезокс, поліхлоркамфен (ПХК), тедіон, каптан, тіодан і деякі інші. Заборонено використовувати альдрин, дильдрин, ендрин і галекрон, ДДТ. Оскільки сполуки ХОС в першу чергу вражають зоопланктонні організми, їх широко застосовують як тест-об'єкти та біоіндикатори. Однією з причин для цього є їх висока фільтраційна активність, значна проникність мембран та особливості дихання. З представників зоопланктону високою чутливістю відрізняються види типу членистоногих (*Arthropoda*), з яких, в свою чергу, найбільш чутливими є ракоподібні (*Crustacea*). У підтипі ракоподібних більшу резистентність виявляють веслоногі ракоподібні. Наприклад, для циклопів (*Cyclops*) токсична дія ХОС проявляється за концентрацій понад 0,01 мг/л. Менш резистентними, як і до більшості інших пестицидів, є гіллястовусі ракоподібні — токсичні концентрації ХОС для дафній (*Daphnia*) знаходяться на рівні 0,001 мг/л [13, 16–18, 22].

ДДТ (дихлордифенілтрихлорметилметан) є найвідомішим представником пестицидів групи ХОС, і хоча він заборонений з 70-х років ХХ сторіччя, існуючі промислові запаси, створені ще за радянських часів, та його висока персистентність (період активних перетворень — близько 20 років) становлять небезпеку і понині. Надзвичайно чутливі до нього дафнії, на яких він діє як нервова отрута — ознаками їх ураження є порушення механізму руху та рівноваги, судоми, параліч. При отруєнні ДДТ вони починають обертальний рух, потім — адинамічна фаза, згодом знову обертальний рух, який закінчується загибеллю. Токсичною концентрацією ДДТ для дафній є 0,1 мг/л за експозиції 24 години. Більш резистентні циклопи: концентрація ДДТ на рівні 0,1 мг/л не має



помітного токсичного ефекту, але за концентрацій понад 1 мг/л вони гинуть протягом 72 годин. Загалом, масова смертність зоопланктонних організмів спостерігається за концентрації ДДТ понад 0,001 мг/л протягом 96 годин, а за 0,01 мг/л відбувається загибель в період до 72 годин [21, 22, 25, 26].

Фосфорорганічні сполуки (зокрема, поширені в Україні дихлорофос $C_4H_7Cl_2O_4P$ та метилнітрофос $C_9H_{12}NO_5PS$) мають низьку хімічну стійкість; швидкість гідролізу ефірів фосфорних кислот залежить від рН середовища і температури. Зокрема, за підвищення температури на $10^{\circ}C$ швидкість їх розпаду зростає у 4 рази. Концентрація хлорофосу ($C_4H_8O_4Cl_3P$) 5–12 мг/л протягом доби не викликає загибелі представників родів дафній (*Daphnia*) і босмін (*Bosmina*), однак концентрація 100 мг/л за експозиції 1 год. діє на них летально. При отруєнні ним дафній, вони демонструють характерний рух по колу. Слід відмітити, що за концентрації хлорофосу 12 мг/л у непроточній воді він не виявляється в досліджуваному матеріалі протягом 89 годин.

Оскільки *D. magna*, яка широко розповсюджена у прісних водоймах України, відрізняється високою чутливістю до дії пестицидів, є кормовим організмом для великої кількості риб та застосовується для біотестування, буде доцільно навести приклади впливу на неї деяких пестицидів різного хімічного походження [11, 20, 23, 25] (табл. 1).

Таблиця 1. Токсикометричні параметри впливу деяких пестицидів на *Daphnia magna* (за М. О. Жердевим, 2009)

| Назва пестициду | ЛК50 | Клас токсичності |
|--|----------|--------------------|
| Стробілурини | | |
| Трифлуксистробін | 0,0009 | особливо токсичний |
| Димоксистробін | 0,042 | особливо токсичний |
| Пиретроїди (похідні циклопропанкарбонової кислоти) | | |
| Бета-цифлутрин | 0,00002 | особливо токсичний |
| Дельтаметрин | 0,0126 | особливо токсичний |
| Похідні тіофосфорної кислоти | | |
| Фоксим | 0,000002 | особливо токсичний |
| Малатіон | 0,003 | особливо токсичний |
| Похідні піразолу | | |
| Фіпроніл | 0,172 | особливо токсичний |
| Фенпіроксимат | 0,05 | особливо токсичний |
| Похідні дитіокарбамінової кислоти | | |
| Тирам | 0,013 | особливо токсичний |
| Метирам | 2,24 | високотоксичний |
| Похідні арилоксифеноксипропіонових кислот | | |
| Галоксифоп-Р-метил | 0,083 | особливо токсичний |
| Хізалофоп-П-етил | 1,65 | високотоксичний |



| Назва пестициду | ЛК50 | Клас токсичності |
|------------------------------------|-------|--------------------|
| Похідні гідроксибензойних кислот | | |
| Іоксиніл | 0,091 | особливо токсичний |
| Бромоксиніл | 0,7 | високотоксичний |
| Похідні карбамінової кислоти | | |
| Фенмедифам | 0,13 | особливо токсичний |
| Феноксикарб | 0,568 | високотоксичний |
| Похідні імідазолу та бензимидазолу | | |
| Карбендазим | 0,08 | особливо токсичний |
| Фуберидазол | 3,76 | високотоксичний |
| Похідні хлорацетатаніліду | | |
| Диметенамід | 11,5 | середньотоксичний |
| Метазахлор | 51,12 | малотоксичний |
| Похідні триазолів | | |
| Дифенокназол | 0,022 | особливо токсичний |
| Метконазол | 0,509 | високотоксичний |
| Флутриафол | 7,22 | середньотоксичний |
| Тритиконазол | 360,2 | малотоксичний |
| Похідні імідазолу (Імідазоліни) | | |
| Імазахін | 27,19 | середньотоксичний |
| Імазетапір | 91,03 | малотоксичний |
| Похідні ізоксазолу | | |
| Кломазон | 10,0 | середньотоксичний |
| Ізоксафлютол | 77,75 | малотоксичний |
| Похідні триазинів | | |
| Метрибузин | 40,97 | середньотоксичний |
| Метамітрон | 85,0 | малотоксичний |

Фітопланктон. Вплив пестицидів на фітопланктон потребує подальших досліджень, однак виявлено, що загальним для них є порушення процесу фотосинтезу та акумуляція. В свою чергу, це провокує явища задухи у водоймах та отруєння риб-планктонофагів. На всіх представників, що переважають у складі фітопланктону прісних водойм — водоростей, представників класу діатомей (*Bacillariophyceae* Naeckel, 1878), типу синьозелених, або ціанобактерій (*Cyanobacteria*), та відділу зелених (*Chlorophyta*), ці хімічні сполуки мають альгіцидний вплив навіть за мікрограмових концентрацій. Загалом, ефект впливу пестицидів залежить від того, в якій формі вони потрапили у водойму. Наприклад, перебуваючи в розчиненому або завислому стані, пестициди викликають менший токсичний ефект, ніж у поєднанні з іншими речовинами. Найбільш небезпечними є їх поєднання з нафтою, нафтопродуктами та поверхнево-активними речовинами (ПАР) — в цих випадках вони виявлять високу проникну здатність. Наведемо деякі



приклади впливу найбільш вживаних або існуючих у вигляді токсичних відходів в Україні пестицидів на фітопланктон прісноводних водойм.

Дерозал, аналог карбендазиму ($C_9H_9N_3O_2$), який було описано вище, має неоднозначний вплив на фітопланктонні угруповання. Оскільки він викликає загибель більшості зоопланктонних видів, чисельність фітопланктону зростає. Крім того, за його дії зареєстровано підвищення хлорофілу «А» ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$), пігменту, який життєво необхідний для фотосинтезу в клітинах еукаріот (*Eukaryota*), ціанобактерій (*Cyanobacteria*) та прохлорофітів або дроб'янок (*Prochlorales*), завдяки своїй здатності віддавати активні електрони в електрон-транспортний ланцюг для окисного фотосинтезу [12].

Сульфеніли — похідні сечовини — є класом системних гербіцидів, які були розроблені у 70-х роках ХХ ст., і з тих пір постійно вдосконалюються. Хоча їх частина (діурон, метоксурон, монолінурон, метабромурон, лінурон, фторметурон, хлорбромурон) вийшла з загального вжитку, однак інші широко розповсюджені. Зокрема, монолінурон ($C_9H_{11}ClN_2ON_1N$) та фігон ($C_{10}H_4O_2C_2$) використовують як модельні сполуки в дослідженнях. На українському ринку пестицидів досить розповсюджений діурон. Зазначені пестициди знижують вміст кисню у воді, причому найбільшу токсичність має діурон — за його внесення у водойму за концентрації 1,25 мг/л насиченість води киснем знижується до 30%. Механізм токсичної дії полягає у блокуванні флавінових ферментів, наслідком чого є інгібування процесу фотосинтезу. Токсична дія цих сполук зазвичай не має глибокого та незворотного впливу на фітопланктон. Зокрема, ці пестициди виявляють альгостатичний ефект на фізіолого-біохімічні процеси в організмі синьозелених водоростей, але у нитчастих водоростей — улотриксу (*Ulotrix*), кладофори (*Cladophora*) та спірогіри (*Spirogyra*) — вони викликають загибель [13].

Похідні триазинів (1,2,4-триазинони та 1,3,5-триазинони) — це селективні гербіциди, синтезовані в 50-х роках. Розрізняють хлорзаміщені симетричні триазини (симазин, атразин, пропазин), метилтіозаміщені симм-триазини (прометрин, тербутрин) та несиметричні триазини (метамітрон, метрибузин). Хоча більшість з них не є рекомендованими для використання, однак вони все ще знаходять своє застосування, зокрема в Україні — при вирощуванні кукурудзи. Більшість з них дуже погано розчинні у воді сполуки, саме тому при потраплянні їх у водойму спочатку гине мікрофітобентос, який можна використовувати як біоіндикатор [1, 26]. За концентрації 100 кг/га чисельність мікрофітобентосу знижується за одну добу з 2,6 млн. клітин на 10 см^2 до 0,2 млн. клітин на 10 см^2 . Таку концентрацію пестициду мікрофітобентос витримує до 9 діб. Стосовно фітопланктону, похідні триазинів за концентрацій до 2 мг/л мають до певної міри вибіркову дію, а за вмісту від 2 до 10 мг/л вони викликають загибель нитчастих та протококових (*Protococophyceae*, або *Chlorococophyceae*) водоростей [11, 17]. За довготривалого застосування (близько 3-х років) симазину та атразину фітопланктонні організми майже повністю зникають з біоценозу [27].

ХОС, стосовно яких вже було зазначено вище, пригнічують фотосинтез фітопланктону на 75–95% за концентрації понад 1 мкг/л та стають летальними за концентрацій понад 10 мкг/л. При розчиненні в нафті та нафтопродуктах їх токсичний вплив на фітопланктон посилюється [28].

Хлоровані похідні фенолів (наприклад, альдрин, арохлор) — це активні пестициди. Вони надходять у прісні водойми кількома шляхами: зі стічними



водами (первинне забруднення водойм), акумулюючись як продукт трансформації хлорвмісних пестицидів, або утворюючись при взаємодії гіперхлорованих стічних вод з ароматичними сполуками (вторинне забруднення). Незалежно від шляху їх утворення, вони здатні до акумуляції та інтоксикації в представниках фітопланктону. В першу чергу, вони викликають загибель представників перифітону, синьозелених та зелених водоростей [17, 21, 29].

Риби. Загальновідомо, що токсичність тих чи інших пестицидів для риб залежить від хімічної природи та форми препарату, його дози, виду і віку риби, температури води та вмісту в ній кисню і солей. Зокрема, молодь риб набагато чутливіша до хімічних сполук, а за підвищення температури води і зменшення в ній вмісту кисню токсичність пестицидів збільшується. Більшість пестицидів діє на риб як нервово-паралітичні отрути, формуючи клінічну картину з нетиповою руховою активністю (порушення рівноваги, стрімкі плавальні рухи, підвищена або знижена рухова активність, судоми, тремор). Стосовно чутливості риб, можна виокремити приблизно таку послідовність: форель (*Salmo trutta*) → окунь (*Perca fluviatilis*) та йорж (*Gymnocephalus cernuus*) → щука (*Esox lucius*) та плітка (*Rutilus rutilus*) → короп (*Cyprinus carpio*), лин (*Tinca tinca*) та карась (*Carassius carassius*). Однак, слід відмітити, що проточність водойми, загальний фізіологічний стан риби та етап її онтогенетичного розвитку суттєво впливають на резистентність до токсичної дії пестицидів [7, 13, 30, 31].

Стробілурини вже на рівні мінімальних летальних концентрацій в початкові строки інтоксикації (до 4-х діб) викликають порушення антиоксидантного балансу в тканинах риб. Можливе виникнення адаптацій до дії стробілуринів у перші 4 доби, однак при подальшій дії цих сполук вони зникають і токсичний ефект загострюється. Страбілурини мають добре виражений тератогенний вплив на ембріонів та передличинок, у личинок порушують пластичний обмін, знижуючи їх лінійний і ваговий ріст [8–10].

Сульфеніли — похідні сечовини, токсичний вплив яких на риб детально описували Ф. Я. Комаровський та Г. В. Попова, зокрема на прикладі плітки (*Rutilus rutilus*) та в'язя (*Leuciscus idus*) під впливом діурону. За концентрації 0,2 мг/л він викликає зниження рівня гемоглобіну та кількості еритроцитів, тим самим спричинюючи виникнення анемії та лейкопенії. Форменні елементи крові за його концентрації близько 2,4 мг/л зазнають незворотніх патологічних змін, що призводить до загибелі риб [32–35].

Дію похідних триазинів (1,2,4-триазинонів та 1,3,5-триазинонів), селективних гербіцидів, погано розчинних у воді, на риб досконало описав Ф. Я. Комаровський. За концентрацій понад 0,5 мг/л вони спричинюють стрімке зменшення кількості еритроцитів та зниження гемоглобіну. У білковому спектрі крові відмічається зменшення альбумінових та гамма-глобулінових фракцій, на фоні збільшення α - та β -глобулінових фракцій [26, 34–36].

Саліциланлід (N-феніламід саліцилової кислоти, анілід саліцилової кислоти, ширлан, саянід, туф-он, хемоцид, 2-гідроксibenзанлід) був створений як фунгіцид та моллюскоцид. В наш час він значно поширений в стічних водах фармацевтичних підприємств, оскільки використовується у їх роботі завдяки яскраво вираженій бактеріостатичній дії. Препарат тривалий час розкладається, довго залишаючись у донних відкладах водойми, втім, його кумулятивна дія дуже слабо виражена. Його токсичність для риб описана В. С. Осетровим. Клінічна



картина отруєння саліциланлідом типова для нервово-паралітичних отрут: підвищена рухова активність, судоми, посилення реакції на подразнення, вистрибування з води, параліч, який стає причиною загибелі риб. Цей пестицид відноситься до високотоксичних отрут, зокрема, він має летальну дію за наступних концентрацій, мг/л: 0,45 за експозиції 24 години; 0,42 за експозиції 48 годин; 0,39 за експозиції 96 годин; 0,15 за експозиції 30 діб [13, 35, 37].

Хлорорганічні сполуки (ХОС) є галоїдопохідними багатоядерних циклічних вуглеводнів (ДДТ та його аналоги), циклопарафінів (ГХЦГ та його аналоги), сполук дії нового ряду (альдрин, дильдрин, гексахлорбутадієн, гептахлор, ділор), терпенів, бензолу та інших хімічних сполук. Для всіх них характерна погана розчинність у воді, напротивагу органічним розчинникам, оліям та жирам. Причому, в прісній воді розчинність їх вища, ніж у солоній — в цьому проявляється ефект «висолювання» [29, 30, 38]. Мінливість властивостей та локалізації у прісних водоймах зумовлена різницею в кількості та складі осадів і часток органічних речовин. ХОС відрізняються надвисокою кумулятивною здатністю, що призводить до зростання кількості цих речовин в організмі риб пропорційно з віком. В організмі риб вони в першу чергу накопичуються в органах і тканинах, багатих жирами або ліпоїдами — найбільше у внутрішньому жирі, головному мозку, стінках шлунково-кишкового тракту. Трохи менше їх накопичується в зябрах, м'язах, нирках та селезінці. За посилення активності метаболічних процесів в жирових тканинах, наприклад, під час голодування і міграції риб, а також під час стресових станів накопичені в організмі ХОС можуть викликати гостре отруєння. У прісних водоймах, помірно забруднених ними, їх виявляють у внутрішніх органах риб в наступних кількостях: у планктонофагів — 0,01–0,05 мг/кг та у хижаків 0,2–0,5 мг/кг, причому, в жирових відкладеннях ці показники збільшуються на кілька порядків. Вони є інгібіторами системи імунітету риб та мають мутагенну, ембріотоксичну та тератогенну дію [2, 5, 32–34]. Крім того, для ХОС притаманна яскраво виражена здатність спричинювати вторинне забруднення. Наприклад, за низьких концентрацій вони можуть не впливати на плідників лососевих (*Salmonidae*) видів риб та розвиток їх ембріонів, однак викликати загибель личинок під час переходу останніх на активне живлення. Іншим прикладом є загибель представників родин лососевих (*Salmonidae*) та сомових (*Siluridae*) риб за тривалого зниження температури. Більшість з цих речовин є високотоксичними сполуками, ступінь отруйності яких змінюється в залежності від виду та віку риб [34, 36, 37, 39] (табл. 2).

Таблиця 2. Токсичність для риб деяких пестицидів

| Назва та синоніми препарату | Вид риб | Летальні концентрації, мг/л | Експозиція (годин) |
|---|-----------------|-----------------------------|--------------------|
| ДДТ (дихлордифенілтрихлорметилметан, азотокс, дикофан, пентахлорин та ін.) | Райдужна форель | 0,032 | 36 |
| | Лосось | 0,08 | 36 |
| | Щука | 0,05 | 48 |
| | Карась | 0,07 – 0,03 | 96 |
| | Короп | 0,25 – 0,35 | 48 |



| Назва та синоніми препарату | Вид риби | Летальні концентрації, мг/л | Експозиція (годин) |
|--|-----------------|-----------------------------|--------------------|
| Гамма-ізомер ГХЦГ (гексахлорциклогексан, ГХЦГ, ліндан, гамма-ізомер) | Короп | 0,17 – 0,28 | 48 |
| | Райдужна форель | 0,3 | 48 |
| | Пічкур | 0,08 | 96 |
| | Плітка | 0,08 | 24 |
| | Карась | 0,12 | 48 |
| Гексахлоран технічний (8 – 12 % γ -ізомера ГХЦГ) | Короп | 2,5 | 96 |
| Гептахлор (велзикол 104, гептаміюль) | Райдужна форель | 0,4 | 48 |
| | Короп | 0,5 | 48 |
| | Щука | 0,6 | 48 |
| | Різні види риби | 0,008 – 0,019 | 96 |
| Гексахлорбензол | Різні види риби | 0,25 – 3,6 | 96 |
| Поліхлоркамфен (ПХК, токсафен, кілфен та ін.) | Райдужна форель | 0,23 | 48 |
| | Окунь | 0,16 | 24 |
| | Плітка | 0,26 | 24 |
| | Короп | 0,22 | 96 |
| | Верховодка | 0,04 | 96 |
| | В'юн | 0,18 | 96 |
| | Товстолобик | 0,022 | 600 |
| Полідофен (40 % ПХК + 20 % ДДТ) | Короп | 0,17 | 96 |
| Поліхлорпінін (ПХП, стробан) | Короп | 1,0 | 24 |
| | Лин | 0,5 | 24 |
| | Пелядь | 0,4 | 24 |
| | Щука | 0,25 | 24 |
| | Плітка | 0,1 | 24 |
| | Минь | 0,1 | 24 |
| | Окунь | 0,05 | 24 |
| Метоксихлор (марлат) | Різні види риби | 0,04 | 96 |
| Калган (ортоцид) | Райдужна форель | 0,25 | 24 |
| | Короп | 0,25 | 24 |
| Кельтан (дикофол, хлоретанол) | Короп | 2,16 | 96 |
| | Товстолобик | 2,93 | 96 |
| | Верховодка | 1,55 | 96 |
| | Пічкур | 1,62 | 96 |
| Тіодан (ендосульфат, малике, циклодан, тимул) | Райдужна форель | 0,01 | 48 |
| | Щука | 0,005 | 48 |
| | Короп | 0,011 | 48 |
| | Різні види риби | 0,001 – 0,009 | 48 |



Вплив ХОС на іхтіофауну багато в чому подібний до токсичного впливу на ссавців, однак риби набагато менш резистентні. Для риб вони є отрутами політропної дії, викликаючи розлади центральної нервової, ендокринної та серцево-судинної систем. Для них характерне ураження паренхіматозних органів, печінки та нирок. Крім того, вони здатні різко пригнічувати активність ферментів дихального ланцюга та порушувати тканинне дихання, блокувати SH-групи тіолових ферментів [2, 3, 13].

ДДТ (дихлордифенілтрихлорметилметан) інсектицид контактної та внутрішньо-системної дії. В організмі риб акумулюється здебільшого у вісцеральному жирі, пілоричних відростках та гонадах, трохи менше — у зябрах та м'язевій тканині. Діє на риб як нервово-паралітична отрута, з типовими клінічними ознаками: підвищена рухова активність, яка переходить у рух колами, порушення рівноваги, занепокоєння, судоми, параліч, який і призводить до загибелі [32–36].

Аналоги ДДТ (ДДД, пертан, ДФДФ, метоксихлор, деякі галогенові сполуки дифенілетану) являють собою кристалічні речовини, майже нерозчинні у воді, але добре розчинні в мінеральних жирах, спирті, ацетоні та ін. Хоча рівень їх токсичного впливу на риб відрізняється між собою, клінічна картина отруєння риб аналогічна [1, 34, 37, 39].

Гексахлорциклогексан має 9 ізомерів, з яких найбільш токсичні для риб γ -ізомери. Впливає на іхтіофауну як отрута контактної та системної дії. Характерною ознакою отруєння ним риб є підвищення споживання кисню. Має яскраво виражений тератогенний ефект. Викликає патологічні зміни у кровоносній системі, зокрема у кровотворних органах (печінці, селезінці) та формених елементах крові (лейкоцитах, еритроцитах, тромбоцитах) [37–39].

Токсафен (поліхлоркамфен, $C_{10}H_{10}Cl_8$) — це інсектицид контактної та системної дії, набагато токсичніший для риб, порівняно з ДДТ. Вирізняється тим, що вже за концентрації 8 мкг/л викликає незворотні патологічні зміни печінки, зябер та хребта [13, 34, 37].

Фосфорорганічні сполуки (ФОС) — це складні ефіри фосфорних кислот, одні з найбільш поширених пестицидів, які свого часу витіснили ХОС із загального використання. Деякі препарати цієї групи (хлорофос, карбофос, фосфамід, трихлорметафос-3) використовують для боротьби з ектопаразитарними захворюваннями риб [40].

Хлорофос ($C_4H_8O_4Cl_3P$) є слабо акумулятивним препаратом і застосовується проти ектопаразитів риб, однак вже у 1%-ому розчині він токсичний для коропових (*Cyprinidae*), хоча його 0,5%-ий розчин за експозиції до 5 хвилин включно не токсичний для коропових риб, він виявляється до 11 діб у кількостях 0,01 мг/кг у м'язах та внутрішніх органах риб. Його дія має прямий вплив на активність холінестерази риб — остання знижується одразу після контакту на 20%, а через годину — на 46%. Варто відзначити, що цей препарат небезпечно застосовувати у лужному середовищі ($pH \geq 7,5$), оскільки в таких умовах він перетворюється на високотоксичний диметилдихлорвінілфосфат (ДДВФ) [39, 41]. Характерними симптомами отруєння хлорофосом для коропових риб є стрімкі плавальні рухи, судоми, зяброва кровотеча, зміна забарвлення шкірного покриву та плавців, білувате ослизнення, сповільнення дихального ритму. Гістологічні



дослідження зябер короїв після контакту з токсичною концентрацією хлорофосу (0,5%-ий розчин за експозиції 2 хвилини) виявили патологічне потовщення та некроз зябрових пелюсток, набрякання респіраторного і десквамацію зябрового епітелію. Дослідженнями встановлено, що молодь коропа витримує наступні концентрації хлорофосу: 150 мг/л за експозиції 17 годин (виживання становить 16,6%), 50 мг/л за експозиції 21 година (виживання 95%). Летальними концентраціями за експозиції 48 годин є, мг/л: для коропа — 100, плітки — 30, форелі та щуки — 1, окуня — 0,75 [37–39].

Метилнітрофос ($C_9H_{12}O_5NSP$) — контактний інсектицид, ларвіцид, акарицид. Найчастіше його застосовують для оброблення водойм з метою знищення водних фаз розвитку комах. Кумулятивні властивості метилнітрофосу слабо виражені. Видова чутливість прісноводних риб визначається наступним чином: верховодка (*Alburnus alburnus*) → окунь (*Perca fluviatilis*) → плітка (*Rutilus rutilus*) → в'юн (*Misgurnus fossilis*) → карась (*Carassius carassius*) → коропа (*Cyprinus carpio*). Токсична концентрація препарату для однорічок коропа становить: 15,6 мг/л за експозиції 24 години; 15,3 мг/л за експозиції 48 годин; 13,1 мг/л за експозиції 96 годин; 5,2 мг/л за експозиції 30 діб.

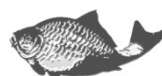
Фосфамід ($C_5H_{12}O_3NSP$) також є контактним і системним інсектицидом, акарицидом, ларвіцидом, однак на противагу метилнітрофосу не викликає збудження у риб. Навпаки, у риб відзначається різке пригнічення, млявість, уповільнення руху та значне ослаблення реакції на зовнішні подразники; судом та тремору м'язів у отруєних риб не спостерігається. Він має слабо виражені кумулятивні властивості. Видова чутливість прісноводних риб України до нього аналогічна їх резистентності до метилнітрофосу. Токсична концентрація цього препарату для однорічок коропа становить: 43 мг/л за експозиції 24 години; 40 мг/л за експозиції 48 годин; 39 мг/л за експозиції 96 годин; 14,3 мг/л за експозиції 30 діб. Летальна концентрація для окунів 40 мг/л, для плітки — 60 мг/л.

Тіофос (паратіон, чи E-605) — інсектицид контактної дії, який викликає у риб нервово-паралітичні явища і за токсичністю для іхтіофауни не відрізняється від ДДТ. На райдужну форель він не чинить гострого токсичного впливу до досягнення концентрації 0,378 мг/л, для окуня такою концентрацією є 0,2 мг/л. Для більшості прісноводних риб його летальна концентрація становить 0,3 мг/л.

Трихлорметафос-3 (ТХМ-3) — фунгіцид та інсектицид, що використовується у тваринництві. В літературі описані наступні летальні концентрації для коропа: 220 мг/л за експозиції 48 годин; 44 мг/л за експозиції 9 діб; 22 мг/л 11 діб та 8 мг/л за експозиції 24 доби [42].

Похідні карбамінової кислоти або карбамати (севін, ТМТД, мезурол, авадекс, карбін, карбатіон), відносяться до токсичних речовин 2-го та 3-го класів небезпеки, однак все ж використовуються як фунгіциди, інсектициди та гербіциди. Вперше були виділені з рослин у 20-х роках ХХ сторіччя, однак після техногенної катастрофи в Індії їх виробництво значно скоротилось [1, 42, 43].

Мабуть, найбільшого поширення з групи карбаматів отримав севін (N-метилнафтилкарбамат) — інсектицид широкого спектру дії з гостро вираженими кумулятивними властивостями. Токсична дія на риб, в першу чергу, нервово-паралітична. Її характерними ознаками є: різке пригнічення рухової активності, парези, параліч, слабка реакція на зовнішні подразники. Загалом, риба



тримається на поверхні води, її поведінка нагадує кисневу недостатність [41, 43]. Виявлено, що гостре отруєння однорічок коропа він викликає за концентрації 28,5 мг/л, за концентрації 2,8 мг/л вони живуть до 19 діб, а за концентрації 2,4 мг/л життєдіяльність продовжується до 50 діб. Летальною концентрацією для окуня є 0,2 мг/л, для плітки — 0,1 мг/л. Летальними концентраціями для більшості риб є 1 мг/л за експозиції 24 години [33–39].

ТМТД, або тетраметилтіурамдисульфід ($C_6H_{12}N_2S_4$), — це органічний сірковмісний препарат, який відзначається гостро вираженими кумулятивними властивостями. Описаними летальними концентраціями ТМТД для окунів є 0,2 мг/л, а для плітки — 0,1 мг/л. Загалом, летальні концентрації для більшості прісноводних риб становлять: 1 мг/л за експозиції 24 години та 10 мг/л за експозиції 18 годин [18, 34, 36, 37, 39].

ДНОК (динітроортокрезол) використовується як гербіцид. Характерною ознакою отруєння ним є запалення шкіри риб, що відзначається скуйовдженням луски. Препарат на жировій основі за концентрації 1 мг/л не чинить гострої токсичної дії; за концентрації 3 мг/л незброєним оком можна побачити перші ознаки отруєння, за концентрації 30 мг/л загибель риб настає протягом 24 годин [34].

Похідні дихлорфеноксиоцтової кислоти переважно гербіциди та альгіциди, які використовують для боротьби з водною рослинністю. По відношенню до риб вони є нервово-паралітичними отрутами. Клінічними ознаками їх дії є збудження та підвищена чутливість до подразників, підвищена рухова активність, яка переходить у рух колами, тремор, судоми [32, 33, 37, 39, 44].

2,4-Д, або амінна сіль, є одним з найпоширеніших представників цієї групи. Варто зазначити, що вона не має особливої здатності до акумуляції. Її летальною концентрацією є: для коропів — 100 мг/л, для окунів та плітки — 75, для верховодки — 50 мг/л [16, 32–37, 39].

Пропанід (3,4-дихлорпропанід) — гербіцид, токсичні властивості якого були детально описані С. С. Кузьміною та Л. І. Соловейкіною. Він здатний до акумуляції і має яскраво виражений тератогенний ефект. Першочерговим його призначенням було оброблення рису на полях. Його концентрація понад 0,011 мг/л є летальною для ембріонів риб, а за такої понад 0,0022 мг/л проявляється виражений тератогенний ефект [30, 32–37, 39].

Похідні дипіридилію — це гербіциди, малотоксичні для риб (звичайно, лише якщо не перевищувати рекомендованих концентрацій). Найпоширенішим в Україні є дикват ($C_{12}H_{12}N_2$). За концентрацій цих сполук понад 1 мг/л змінюється форменний склад крові, виникають патологічні зміни внутрішніх органів, знижується маса риб. Літературні дані свідчать, що летальними для представників прісноводної іхтіофауни є концентрації понад 200 мг/л [7, 32–39].

Пенцикурон, або пропіленглікольбутиловий ефір ($C_{19}H_{21}ClN_2O$), — інсектицид та фунгіцид, у воді практично не розчиняється. Його токсичний вплив стрімко збільшується в твердій воді. За концентрації 3 мг/л викликає дегенеративні зміни в печінці риб, а за концентрацій понад 10 мг/л має виражені тератогенний та стерилізуючий ефекти [30, 32–37, 39].

В наш час в Україні існує низка документів, що регламентують нормативи



щодо вмісту та використання пестицидів. Так, основним нормативно-правовим документом, який регламентує санітарні норми вмісту пестицидів у харчових продуктах, зокрема у рибі, є СанПіН 42-123-4540-87 [45, 46]. Крім того, існує Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні, до якого входять пестициди, які пройшли контроль та реєстрацію терміном на 5 років. Крім того, за останні роки майже повністю змінився асортимент пестицидів, які застосовувалися до 1990 року. Як зазначають виробники, сучасні препарати менш персистентні й токсичні для людини і теплокровних тварин. Майже вдвічі зменшилися норми їх витрат [47].

Але, водночас з цим, на ринок пестицидів в Україні потрапляє величезна кількість підробленої продукції. За даними FAO, в Україні обсяг контрафактних пестицидів у 2015 році зріс до 20–25%, а на роздрібному ринку — до 80%. Тобто кожна 5 каністра пестицидів і багато інших засобів роздрібного фасування — це підробка [48]. За іншими даними, в Україні на 1 т деяких оригінальних пестицидів припадає 150 т фальсифікату [49].

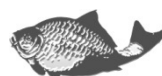
З 2010 року і по сьогодні триває кампанія Агрохімічного комітету Європейської Бізнес Асоціації з інформування фермерів та аграріїв про жахливі наслідки та небезпеку застосування фальсифікованих і нелегальних пестицидів. На превеликий жаль, і досі продовжують з'являтися нові й нові господарства та сільгоспвиробники, які постраждали внаслідок застосування фальсифікату, і кількість таких випадків невпинно зростає. Фальсифіковані пестициди становлять особливу небезпеку, оскільки інформація про їхню небезпеку відсутня або обмежена, дія — непередбачувана, а завдана шкода — істотна та тривала. Токсичні домішки невивчених препаратів потрапляють у довкілля, накопичуються в поверхневих та підземних водах і на довгі роки залишаються в ґрунті, впливаючи на майбутні врожаї. Для певних представників фауни контакт із підробленими пестицидами закінчується фатально. При цьому, слід пам'ятати, що лабораторні дослідження, проведені зі зразками фальсифікованих пестицидів майже завжди фіксують непередбачуваний та зазвичай украй негативний вплив фальсифікату на зовнішнє середовище та живих істот [49].

Як наслідок, вплив фальсифікованих пестицидів може залишити абсолютно беззахисними більшість представників бентосних та планктонних організмів прісних водойм, сприятиме збіднінню іхтіоценозів та призводитиме до віддалених негативних наслідків у популяціях риб.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

За сучасних соціально-економічних умов України актуальності набула проблеми застосування пестицидів в агротехнологіях та дослідження наслідків їх впливу на екосистеми. Багаторічне використання пестицидів на величезних територіях призвело до масштабного забруднення навколишнього середовища. Міграція токсичних речовин в екологічних системах і харчовими ланцюгами призводить до нагромадження залишкових кількостей пестицидів у природних об'єктах.

Пестициди різного хімічного походження згубно діють на всіх без винятку представників біоти прісних водойм. У роботі висвітлено особливості токсичної дії пестицидів основних хімічних груп, які використовуються або зберігаються в Україні. Розглянуто їх токсичні та летальні концентрації для основних видів



зообентосу, зоопланктону, фітопланктону та риби прісних водойм. Наведено основні особливості поведінкових реакцій гідробіонтів при отруєнні пестицидами. Зазначені основні структурні та системні порушення гомеостазу організмів біоти.

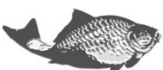
Вплив пестицидів на фітопланктон потребує подальших досліджень, однак виявлено, що загальним для них є порушення процесу фотосинтезу та акумуляція. В свою чергу, це провокує явища задухи у водоймах та отруєння риб-планктонофагів. На всіх представників водоростей, що переважають у складі фітопланктону прісних водойм, ці токсиканти справляють альгіцидний вплив навіть за мікрограмових концентрацій. Загалом, ефект впливу пестицидів залежить від того, в якій формі вони потрапили у водойму. Перебуваючи в розчиненому або завислому стані, пестициди викликають менший токсичний ефект, ніж у поєднанні з іншими речовинами.

Зоопланктонні організми відрізняються високою чутливістю до дії пестицидів, тому вони можуть використовуватись як індикатор стану прісних водойм. Виявлено, що, залежно від своєї концентрації, пестициди мають різну токсичну дію на представників зоопланктону. Так, прояв їх негативної дії може бути від незначного скорочення популяції з подальшою адаптацією організмів до зниження плодючості, скорочення чисельності популяції та їх загибелі. Ознаками ураження зоопланктону пестицидами є судоми, параліч, порушення механізму руху та рівноваги.

Вплив пестицидів на представників зообентосу досліджено порівняно мало. Відомо, що угруповання бентосних спільнот реагує на присутність пестицидів зміною видового складу, кількості зареєстрованих видів, чисельності та біомаси загального зообентосу та окремих систематичних груп донних безхребетних. Механізм згубної дії різних пестицидів, залежно від їх хімічної природи, вкрай різноманітний: вони пригнічують дихання внаслідок блокування реакцій з перенесенням електронів, порушують пропускну здатність мембран, інгібують синтез білка та хітину. При впливі пестицидів на зообентос спостерігається три характерні фази — після порушення певного процесу в організмі настає загальний стресовий стан, за яким йде загибель.

Токсичність тих чи інших пестицидів для риб залежить від хімічної природи та форми препарату, його дози, виду і віку риби, температури води та вмісту в ній кисню і солей. Зокрема, молодь риб набагато чутливіша до хімічних сполук, а за підвищення температури води і зменшення в ній вмісту кисню токсичність пестицидів збільшується. Більшість пестицидів діє на риб як нервово-паралітичні отрути, формуючи клінічну картину з нетиповою руховою активністю (порушення рівноваги, стрімкі плавальні рухи, підвищена або знижена рухова активність, судоми, тремор). На резистентність до токсичної дії суттєво впливають також проточність водойми, загальний фізіологічний стан риби та етап її онтогенетичного розвитку.

В наш час в Україні існує низка документів, що регламентують нормативи щодо вмісту та використання пестицидів. Кожен пестицид, що потрапляє на ринок України, проходить контроль та реєстрацію. Крім того, як зазначають виробники — сучасні препарати менш персистентні й токсичні. Але, водночас з цим, на ринок пестицидів в Україні потрапляє величезна кількість фальсифікованої продукції. Лабораторні дослідження, проведені зі зразками фальсифікованих пестицидів, майже завжди фіксують непередбачуваний та зазвичай вкрай негативний вплив фальсифікату на зовнішнє середовище та живих істот. Крім того, відомо, що багато заборонених для використання речовин, у

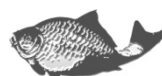


тому числі і пестицидів, у великих кількостях зберігаються з порушенням строків чи умов, поступово проникаючи в навколишнє середовище. Як наслідок, такий комплексний негативний вплив може залишити абсолютно беззахисними більшість представників планктонних та бентосних організмів прісних водойм, сприятиме збіднінню іхтіоценозів та призводитиме до віддалених негативних наслідків у популяціях риб.

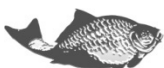
Таким чином, вищенаведене підтверджує актуальність подальших досліджень з поглибленого вивчення токсичних властивостей пестицидів на біоту прісних водойм, які б враховували їх численні фізико-хімічні характеристики, а також фізіолого-біохімічні особливості основних представників гідробіоценозу.

ЛІТЕРАТУРА

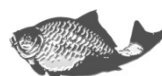
1. Пестициды [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.pesticide.ru>.
2. Ситник Ю. М. Хлорорганічні пестициди в органах і тканинах риб гирлової ділянки Дністра та Дністровського лиману (огляд) / Ю. М. Ситник, Н. Л. Колесник, Т. О. Берсан // Рибогосподарська наука України. — 2012. — № 3. — С. 8—13.
3. Брагинский Л. П. Некоторые итоги исследований по водной токсикологии в Украине / Л. П. Брагинский // Актуальные проблемы водной токсикологии : тезисы докл. — Борок, 2004. — С. 11—33.
4. Кочурова Т. И. Зообентос водоемов бассейна р. Вятка в условиях антропогенного влияния : дисс. ... кандидата биол. наук : 03.00.16 // Кочурова Татьяна Ивановна. — Сыктывкар, 2008. — 217 с.
5. Брагинский Л. П. Пестициды и жизнь водоемов / Брагинский Л. П. — К. : Наукова думка, 1972. — 227с.
6. Экологические последствия применения химических средств защиты растений [Электронный ресурс]. — Режим доступа : nsau.edu.ru/file/2117/.
7. Строганов Н. С. Теоретические аспекты действия пестицидов на водные организмы / Н. С. Строганов // Эксперим. вод. токсикология. — 1973. — Вып. 5. — С. 11—37.
8. Влияние стробилуриновых фунгицидов на жизнедеятельность дафний / Е. А. Федорова, И. Л. Левина, Е. С. Власенко [и др.] // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна 2008–2009 гг. : сборник научных трудов— Ростов н/Д., 2011. — С. 267—274.
9. Федорова Е. А. Оценка токсичности стробилуриновых фунгицидов для гидробионтов : дисс. ... кандидата биол. наук : 03.02.08 / Федорова Е. А. — Ростов н/Д., 2012. — 143 с.
10. Федорова Е. А. Оценка токсичности стробилуринового фунгицида димоксистробина для пресноводных организмов разных трофических уровней / Е. А. Федорова, И. Л. Левина, Н. И. Щербакова // Современное состояние водных биоресурсов и экосистем морских и пресных вод России: проблемы и пути решения : Междунар. науч. конф. : тез. докл. — Ростов н/Д., 2010. — С. 295—299.
11. Горбатова О. Н. Триазиновые пестициды: структура, действие на живые организмы, процессы деградации / О. Н. Горбатова, А. В. Жердев, О. В. Королева // Успехи биологической химии. — 2006. — Т. 46. — С. 323—348.



12. Impact of the fungicide carbendazim in freshwater microcosms / Van den Brink Paul J., Hattink Jasper, Bransen Fred [et al.] // *Aquat. Toxicol.* — 2000. — № 2–3(48). — С. 251–264.
13. Федоров Л. Л. Пестициды – удар по биосфере и человеку / Л. Л. Федоров, А. В. Яблоков. — М. : Наука, 1999. — 462 с.
14. Прогнозирование поведения пестицидов в окружающей среде : тр. Сов.-амер. симпози., Ереван, окт. 1981. — Л. : Гидрометеиздат, 1984. — 306 с.
15. Брагинский Л. П. Принципы классификации и некоторые механизмы структурно-функциональных перестроек пресноводных экосистем в условиях антропогенного стресса / Л. П. Брагинский // *Гидробиол. журн.* — 1998. — Т. 34, № 6. — С. 72–94.
16. Давидюк Е. И. Эколого-гигиеническая оценка загрязнения объектов агробиоценоза некоторыми хлорорганическими пестицидами / Е. И. Давидюк // *Актуальні проблеми екології та токсикології: наук.-практ. конф., Київ, 28–29 трав. 1998 р. : мат. — К., 1998. — С. 79–82.*
17. Тинсли И. Поведение химических загрязнителей в окружающей среде : [пер. с англ.] / Тинсли И. — М. : Мир, 1992. — 281 с.
18. Методы определения микроколичеств пестицидов в продуктах питания, кормах и внешней среде : справочник. Т. 1. — М. : Колос, 1992. — 566 с.
19. Курбатова С. А. Реакция зоопланктонных сообществ микро- и мезокосмов на действие природных и антропогенных факторов : дисс. ... кандидата биол. наук : 03.00.18 / Курбатова Светлана Анатольевна. — Борок, 2006. — 166 с.
20. Жердев Н. А. Оценка и прогнозирование эко-токсичности пестицидов по *Daphnia magna* Straus : дисс. ... кандидата биол. наук : 03.00.16 / Жердев Николай Александрович. — Ростов н/Д., 2009. — 170 с.
21. Андреев Ю. А. Методика определения полихлорфенолов в воде газохроматографическим методом с дериватизацией / Ю. А. Андреев, В. Е. Морозова // *Вода: химия и экология.* — 2013. — № 6. — С. 94–99.
22. Курбатова С. А. Реакция зоопланктона микрокосмов на раздельное и совместное поступление хлорпирифоса и смеси тяжелых металлов / С. А. Курбатова, Е. А. Коренева, Г. А. Виноградов // *Биология внутренних вод.* — 2007. — № 3. — С. 87–94.
23. Лесников Л. А. Методика оценки влияния вод из природных водоемов на дафний / Л. А. Лесников // *Методики биологических исследований по водной токсикологии.* — М. : Наука, 1971. — С. 157–158.
24. Гиляров А. М. Динамика численности пресноводных планктонных ракообразных / Гиляров А. М. — М. : Наука, 1987. — 189 с.
25. Лунев М. И. Мониторинг пестицидов в окружающей среде и продукции: эколого-токсикологические и аналитические аспекты / М. И. Лунев // *Рос. хим. журн. (Журн. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева).* — 2005. — Т. 49, № 3. — С. 64–70.
26. Методика выполнения измерений массовой концентрации 2,4-Д, симазина, атразина в питьевой воде, воде водоемов и водосточников методом ВЭЖХ. — Уфа, РБ.АП-31/96.
27. Брагинский Л. П. Пресноводный планктон в токсической среде / Брагинский Л. П., Величко И. М., Щербань Э. П. — К. : Наукова думка, 1987. — 179 с.
28. Яблоков А. В. О недооценке отрицательных последствий применения пестицидов и возможности разработки иных путей развития сельского хозяйства / Яблоков А. В. — Пушкино, 1988. — 100 с.



29. Лунев М. И. Пестициды и охрана агрофитоценозов / Пестициды и охрана агрофитоценозов / Лунев М. И. — М. : Колос, 1992. — 267 с.
30. Брагинский Л. П. Персистентные пестициды в экологии пресных вод / Брагинский Л. П., Комаровский Ф. Я., Мережка А. И. — К. : Наукова думка, 1979. — 141 с.
31. Строганов Н. С. Приспособленность и приспособляемость в системе взаимоотношений гидробионта с токсикантом / Строганов Н. С. // Реакции гидробионтов на загрязнение. — М. : Наука, 1983. — С. 5—13.
32. Прешинг М. Влияние пестицидов па массовые виды пресноводных животных: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. биол. наук / М. Прешинг. — К., 1985. — 20 с.
33. Метелев В. В. Водная токсикология / Метелев В. В., Канаев А. И., Дзасохова Н. Г. — М. : Колос, 1971. — 247 с.
34. Грищенко Л. И. Болезни рыб и основы рыбоводства / Грищенко Л. И., Акбаев М. Ш., Васильков Г. В. — М. : Колос, 1999. — 30 с.
35. Биогеохимические и токсикологические исследования загрязнения водоёмов : сб. науч. тр. ВНИРО. — М. : ВНИРО, 1984. — 167 с.
36. Анисимова И. М. Ихтиология / И. М. Анисимова, В. В. Лавровский. — М. : Агропромиздат, 1991 — 388 с.
37. Болезни рыб. Справочник / [Васильков Г. В., Грищенко Л. И., Енгашев В. Г. и др.] ; под ред. В. С. Осетрова. — [2-е изд., перераб. и доп.]. — М. : Агропромиздат, 1989. — 288 с.
38. Перевозников М. А. Ихтиотоксикологические основы экологического мониторинга пресноводных водоемов (пестициды, тяжелые металлы) : дисс. доктора биол. наук : 03.00.16 / Перевозников Михаил Александрович. — Петрозаводск, 2003. — 277 с.
39. Лукьяненко В. И. Общая ихтиотоксикология / Лукьяненко В. И. — М. : Легкая и пищ. пром-ть, 1983. — 320 с.
40. Грищенко Л. И. Влияние некоторых пестицидов на восприимчивость рыб к псевдомонозу / Л. И. Грищенко // Профилактика, лечение и диагностика инфекционных болезней рыб. — 1987. — С. 26—27.
41. Маслова О. В. Аккумуляция хлорорганических пестицидов в рыбах и макробеспозвоночных / О. В. Маслова, Ф. Я. Комаровский, Л. П. Брагинский // Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов. — К. : Наукова думка, 1993. — 225 с.
42. Белан С. Р. Новые достижения в химии фунгицидов / С. Р. Белан // Агрохимия. — 2003. — № 11. — С. 27—32.
43. Юфит С. С. Стойкие органические загрязнители — «грязная дюжина» [Электронный ресурс] / С. С. Юфит. — Режим доступа : <http://www.greenpeace.org/russia/global/russia/report/2003/11/28330.html>
44. Федорова Л. М. Производные хлорфеноксиуксусных кислот и охрана окружающей среды / Л. М. Федорова, Р. С. Белова. — Саратов : СГУ, 1983. — 124 с. — (Пестициды в продуктах питания).
45. Загрязнение водной среды [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://edu.dvgups.ru/METDOC/ENF/NIMIJ/EKOL/METHOD/UP/UP3.htm>.
46. Загрязнение водоемов [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://lektsii.com/1-102698.html>.
47. Сторчоус І. Екологія і пестициди [Електронний ресурс] / І. Сторчоус // Агрономія сьогодні. — 2012. — № 1–2. — С. 224—225. — Режим доступу :

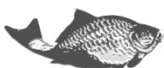


<http://www.agro-business.com.ua/agronomiia-siogodni/838-ekologiiia-i-pestytsydy.html>.

48. Четверть пестицидів в Україні — фальсифікат. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://agravery.com/uk/posts/show/cvert-pesticidiv-v-ukraini-falsifikat>.
49. Фальсифіковані та нелегальні пестициди й агрохімікати поруч з вами: видимість економії чи не виправні втрати. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://www.eba.com.ua/static/committees/agro/LeafletACFConsequences_27022015.pdf.

REFERENCES

1. Pestitsidy. *pesticity.ru*. Retrieved from <http://www.pesticity.ru/>.
2. Sytnyk, Yu. M., Kolesnyk, N. L., & Bersan, T. O. (2012). Khlrorhanichni pestytsydy v orhanakh i tkanynakh ryb hyrlovoi dilianky Dnistra ta Dnistrovskoho lymanu (ohliad). *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 3, 8-13.
3. Braginskiy, L. P. (2004). Nekotorye itogi issledovaniy po vodnoy toksikologii v Ukraine. *Aktual'nye problemy vodnoy toksikologii*. Borok, 11-33.
4. Kochurova, T. I. (2008). Zoobentos vodoemov basseyna r. Vyatka v usloviyakh antropogennogo vliyaniya. *Candidate's thesis*. Syktyvkar.
5. Braginskiy, L. P. (1972). *Pestitsidy i zhizn' vodoemov*. Kyiv : Naukova dumka.
6. Ekologicheskie posledstviya primeneniya khimicheskikh sredstv zashchity rasteniy. *nsau.edu.ru*. Retrieved from nsau.edu.ru/file/2117/
7. Stroganov, N. S. (1973). Teoreticheskie aspekty deystviya pestitsidov na vodnye organizmy. *Eksperim. vod. toksikologiya*, 5, 11-37.
8. Fedorova, E. A., Levina, I. L., Vlasenko, E. S., & Zherdev, N. A. (2011). Vliyanie strobilurinovykh fungitsidov na zhiznedeyatel'nost' dafniy. *Osnovnye problemy rybnogo khozyaystva i okhrany rybokhozyaystvennykh vodoemov Azovo-Chernomorskogo basseyna, 2008–2009 gg. Sbornik nauchnykh trudov*. Rostov-na-Donu, 267-274.
9. Fedorova, E. A. (2012). Otsenka toksichnosti strobilurinovykh fungitsidov dlya gidrobiontov. *Candidate's thesis*. Rostov-na-Donu.
10. Fedorova, E. A., Levina, I. L., & Shcherbakova, N. I. (2010). Otsenka toksichnosti strobilurinovogo fungitsida dimoksisitrobina dlya presnovodnykh organizmov raznykh troficheskikh urovney. *Sovremennoe sostoyanie vodnykh bioresursov i ekosistem morskikh i presnykh vod Rossii: problemy i puti resheniya : Mezhdunar.nauch. konf.* Rostov-na-Donu, 295-299.
11. Gorbatova, O. N., Zherdev, A. V., & Koroleva, O. V. (2006). Triazinovye pestitsidy: struktura, deystvie na zhivye organizmy, protsessy degradatsii. *Uspekhi biologicheskoy khimii*, 46, 323-348.
12. Van den Brink, P. J., Hattink, J., Bransen, F., Van Donk, E., & Brock, T. C. M. (2000). Impact of the fungicide carbendazim in freshwater microcosms. *Aquat. Toxicol.*, 2-3(48), 251-264.
13. Fedorov, L. L., & Yablokov, A. V. (1999). *Pestitsidy – udar po biosfere i cheloveku*. Moskva : Nauka.
14. Prognozirovanie povedeniya pestitsidov v okruzhayushchey srede. (1984). *Tr. Sov.-amer. simpoz., Erevan, oktyabr' 1981*. Leningrad : Gidrometeoizdat.
15. Braginskiy, L. P. (1998). Printsipy klassifikatsii i nekotorye mekhanizmy strukturno-funktsional'nykh perestroek presnovodnykh ekosistem v usloviyakh antropogennogo stressa. *Gidrobiol. zhurn.*, 34(6), 72-94.
16. Davidyuk, E. I. (1998). Ekologo-gigienicheskaya otsenka zagryazneniya ob"ektov agrobiotsenoza nekotorymi khlrororganicheskimi pestitsidami. *Aktual'ni problemy*



- ekogigieny i toksikologii: nauk.-prakt. konf. : mat., Kiev, 28–29 travnya, 1998. Kiev, 79-82.*
17. Tinsli, I. (1992). *Povedenie khimicheskikh zagryazniteley v okruzhayushchey srede.* Moskva : Mir.
 18. *Metody opredeleniya mykrokolychestv pestytsydiv v produktakh pytanyia, kormakh y vneshnei srede: Spravochnyk, 1.* (1992). Moskva : Kolos.
 19. Kurbatova, S. A. (2006). Reaktsiya zooplanktonnykh soobshchestv mikro- i mezokosmov na deystvie prirodneykh i antropogennykh faktorov. *Candidate's thesis.* Borok.
 20. Zherdev, N. A. (2009). Otsenka y prohnozyrovanye eko-toksychnosti pestytsydiv po *Daphnia magna* Straus. *Candidate's thesis.* Rostov-na-Donu.
 21. Andreev, Yu. A., & Morozova, V. E. (2013). Metodika opredeleniya polikhlorfenolov v vode gazokhromatograficheskim metodom s derivatizatsiey. *Voda: khimiya i ekologiya, 6,* 94-99.
 22. Kurbatova, S. A., Koreneva, E. A., & Vinogradov, G. A. (2007). Reaktsiya zooplanktona mikrokosmov na razdel'noe i sovместное postuplenie khlorpirifosa i smesi tyazhelykh metallov. *Biologiya vnutrennikh vod, 3,* 87-94.
 23. Lesnikov, L. A. (1971). Metodika otsenki vliyaniya vod iz prirodnykh vodoemov na dafniy. *Metodiki biologicheskikh issledovaniy po vodnoy toksikologii.* Moskva : Nauka, 157-158.
 24. Gilyarov, A. M. (1987). *Dinamika chislennosti presnovodnykh planktonnykh rakoobraznykh.* Moskva : Nauka.
 25. Lunev, M. I. (2005). Monitoring pestitsidov okruzhayushchey brede i produktsii: ekologo-toksikologicheskije i analiticheskie aspekty. *Ros. khim. zhurn. (Zhurn. Ros. khim. ob-va im. D. I. Mendeleeva), XLIX, N. 3,* 64-70.
 26. *Metodika vypolneniya izmereniy massovoy kontsentratsii 2,4 – D, simazina, atrazina v pit'evoy vode, vode vodoemov i vodoistochnikov metodom VEZhKh.* (n.d.). Ufa, RB.AP-31/96.
 27. Braginskiy, L. P., Velichko, I. M., & Shcherban', E. P. (1987). *Presnovodnyy plankton v toksicheskoy srede.* Kiev : Naukova dumka.
 28. Yablokov, A. V. (1988). *O nedootsenke otritsatel'nykh posledstviy primeneniya pestitsidov i vozmozhnosti razrabotki inykh putey razvitiya sel'skogo khozyaystva.* Pushchino.
 29. Lunev, M. I. (1992). Pestitsidy i okhrana agrofytotsenozov. *Pestitsidy i okhrana agrofytotsenozov.* Moskva : Kolos.
 30. Braginskiy, L. P., Komarovskiy, F. Ya., & Merezhko, A. I. (1979). *Persistentnyye pestitsidy v ekologii presnykh vod.* Kiev : Naukova dumka.
 31. Stroganov, N. S. (1983). Prispособlennost' i prispособlyaemost' v sisteme vzaimootnosheniy gidrobionta s toksikantom. *Reaktsii gidrobiontov na zagryaznenie.* Moskva : Nauka, 5-13.
 32. Preshing, M. (1985). Vliyanie pestitsidov pa massovye vidy presnovodnykh zhivotnykh. *Extended abstract of candidate's thesis.* Kiev.
 33. Metelev, V. V., Kanaev, A. I., & Dzasokhova, N. G. (1971). *Vodnaya toksikologiya.* Moskva : Kolos.
 34. Grishchenko, L. I., Akbaev, M. Sh., & Vasil'kov, G. V. (1999). *Bolezni ryb i osnovy rybovodstva.* Moskva : Kolos.
 35. Patin, S. A. (Ed.). (1984). *Biogeokhimicheskie i toksikologicheskie issledovaniya zagryazneniya vodoemov: Sb. nauch. tr. VNII mor. ryb. khoz-va i okeanografii (vyp. dan. 1985).* Moskva : VNIRO.



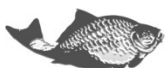
36. Anisimova, I. M., & Lavrovskiy, V. V. (1991). *Ikhtiologiya*. Moskva : Agropromizdat.
37. Vasil'kov, G. V., Grishchenko, L. I., & Engashev, V. G., et al.; Osetrov, V. S. (Ed.). (1989). *Bolezni ryb. Spravochnik [2-e izd., pererab. i dop.]*. Moskva : Agropromizdat.
38. Perevoznikov, M. A. (2003). Ikhtiotoksikologicheskie osnovy ekologicheskogo monitoringa presnovodnykh vodoemov (pestitsidy, tyazhelye metally). *Doctor's thesis*. Petrozavodsk.
39. Luk'yanenko, V. I. (1983). *Obshchaya ikhtiotoksikologiya*. Moskva : Legkaya i pishch. prom-t'.
40. Grishchenko, L. I. (1987). Vliyanie nekotorykh pestitsidov na vospriimchivost' ryb k psevdomonozu. *Profilaktika, lechenie i diagnostika infektsionnykh bolezney*, 26-27.
41. Maslova, O. V., Komarovskiy, F. Ya., & Braginskiy L. P. (1993). Akkumulyatsiya khlororganicheskikh pestitsidov v rybakh i makrobespozvonochnykh. *Gidroekologiya ukrainskogo uchastka Dunaya i sopredel'nykh vodoemov*. Kiev : Naukova dumka.
42. Belan, S. R. (2003). Novye dostizheniya v khimii fungitsidov. *Agrokhimiya*, 11, 27-32.
43. Yufit, S. S. (n.d.). Stoykie organicheskie zagryazniteli — «gryaznaya dyuzhina». *greenpeace.org*. Retrieved from <http://www.greenpeace.org/russia/Global/russia/report/2003/11/28330.html>.
44. Fedorova, L. M., & Belova, R. S. (1983). *Proizvodnye khlorfenoksiuksusnykh kislot i okhrana okruzhayushchey sredy. (Pestitsidy v produktakh pitaniya)*. Saratov : SGU.
45. Zagryaznenie vodnoy sredy. (n.d.). *edu.dvgups.ru*. Retrieved from <http://edu.dvgups.ru/METDOC/ENF/HIMIY/EKOL/METHOD/UP/UP3.htm>.
46. Zagryaznenie vodoemov. (n.d.). *lektsii.com*. Retrieved from <http://lektsii.com/1-102698.html>.
47. Storchous, I. (2012). Ekolohiia i pestytsydy. *Ahronomiia sohodni*, 1-2, 224-225. Retrieved from <http://www.agro-business.com.ua/agronomiia-siogodni/838-ekolohiia-i-pestytsydy.html>.
48. Chvert pestytsydiv v Ukraini – falsyfikat. (n.d.). *agravery.com*. Retrieved from <http://agravery.com/uk/posts/show/cvert-pesticidiv-v-ukraini-falsifikat>.
49. Falsyfikovani ta nelehalni pestytsydy i ahrokhimikaty poruch z vamy: vydymist ekonomii chy nevypravni vtraty. (n.d.). *eba.com.ua*. Retrieved from http://www.eba.com.ua/static/committees/agro/LeafletACFConsequences_27022015.pdf.

ТОКСИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ПЕСТИЦИДОВ НА БИОТУ ПРЕСНЫХ ВОДОЁМОВ УКРАИНЫ (ОБЗОР)

Н. Л. Колесник, kolesnik@if.org.ua, Інститут рибного господарства НААН, г. Київ

Цель. Проанализировать научные источники по исследованиям токсичных и летальных концентраций пестицидов для фито-, зоопланктона, зообентоса и рыбы в современных условиях Украины.

Результаты. Обзор научных работ показал, что пестициды различного химического происхождения пагубно действуют на всех без исключения представителей биоты пресных водоемов. В статье освещены особенности токсического влияния пестицидов основных химических групп, которые используются или хранятся в Украине. Рассмотрены их токсичные и летальные концентрации для основных видов фито-, зоопланктона,



зообентоса и ихтиофауны водоемов. Приведены основные особенности поведенческих реакций гидробионтов различных групп при отравлении пестицидами. Указаны основные структурные и системные нарушения гомеостаза организмов биоты.

Практическая значимость. Массив обобщенной информации о токсическом и летальном влиянии пестицидов будет важным для ученых, исследующих биологическую опасность применения пестицидов, их влияние на основные сообщества биоты пресных водоемов, в целом для проведения ихтиотоксикологических и экологических исследований. Данные об особенностях токсического воздействия пестицидов на рыб являются актуальными в условиях постоянно растущего спроса на рыбную продукцию как источник полноценного белка для человека.

Ключевые слова: пресные водоемы, гидробионты, фитопланктон, зоопланктон, зообентос, рыба, пестициды, фунгициды, моллюскоциды, альгициды, ихтиоциды, хлорорганические соединения, фосфорорганические соединения, высокотоксичные соединения.

TOXIC EFFECT OF PESTICIDES ON THE BIOTA OF FRESHWATER RESERVOIRS OF UKRAINE (A REVIEW)

N. Kolesnyk, kolesnik@if.org.ua, Institute of Fisheries of NAAS, Kyiv

Purpose. To analyze scientific sources on the studies of toxic and lethal concentrations of pesticides on phytoplankton, zooplankton, zoobenthos and fish in current conditions of Ukraine.

Findings. A review of works of a variety of scientists showed that pesticides with different chemical origins have disastrous effects on everyone without the exception of freshwater biota organisms. The article highlights the peculiarities of the toxic effects of pesticides of major chemical groups, which are used or stored in Ukraine. Their toxic and lethal concentrations for the major species of phytoplankton, zooplankton, zoobenthos and ichthyofauna reservoirs are considered. The data on basic features of behavioral reactions of aquatic organisms on poisoning by pesticides are provided. The basic structural and systemic disorders of homeostasis of the organisms of aquatic biota are described. The effect of pesticides on phytoplankton needs further research, however, it was found that they have common feature as the disturbance of photosynthesis process and accumulation. In turn, this provokes kills in water bodies and poisoning of phytoplanktivorous fish. Zooplanktonic organisms are highly sensitive to pesticides; hence they can be used as an indicator of the state of fresh water. It was found that, pesticides depending on their concentration have different toxic effects on zooplankton organisms. The effect of pesticides on benthic organisms was little investigated. It is known that benthic communities respond to the presence of pesticide by changes in species composition, number of species, abundance and biomass of benthos in general and individual taxonomic groups of benthic invertebrates. The toxicity of pesticides for fish depends on their chemical nature, the form of the preparation, dose, fish species and age, water temperature and the content of oxygen and salts. In particular, juvenile fish are much more sensitive to the chemicals, and an increase in water temperature and a decrease in oxygen content results in an increase in pesticide toxicity.

Practical value. The array of the generalized information on the toxic and lethal effects of pesticides will be important for scientists who investigate the biological risk of pesticides and their impact on basic categories of freshwater biota and, in general, for ichthyological and environmental research. The information on the peculiarities of the toxic effects of pesticides on fish is important in the conditions of increasing demand for fish products as a source of valuable proteins for humans.

Keywords: freshwater bodies, hydrobionts, phytoplankton, zooplankton, zoobenthos, fish, pesticides, fungicides, molluscicides, algicides, biopesticides, organochlorines, organophosphates, highly toxic compounds.

