

ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ГЕРБІЦИДУ ДИРЕКТОР, В.Р. (Д.Р. ІЗОПРОПІЛАМІННА СІЛЬ ГЛІФОСАТУ, 410 Г/ДМ³) НА ГІЛЛЯСТОВУСИХ РАКОПОДІБНИХ *CERIODARHŇIA AFFINIS* LILLJEBORG

Е.П. ЩЕРБАНЬ,

біологічних наук, старший науковий співробітник,
Українська лабораторія якості та безпеки продукції АПК

<https://orcid.org/0000-0003-0685-9476>

shcherban1943@ukr.net

О.О. СИКАЛО,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри інтегрованого
захисту та карантину рослин НУБіП України

<https://orcid.org/0000-0002-0403-2101>

movchanoksana22@gmail.com

Анотація. Аналіз результатів хронічних дослідів показав, що гербіцид Директор (діюча речовина – ізопропіламіна сіль гліфосату, 41%) належить до речовин токсичних для *Ceriodarhnia affinis*. Препарату властива ембріотоксичність.

Гербіцид Директор проявляє найбільшу токсичну дію для *C. affinis* в концентрації 50 мг/дм³. Пригнічуються всі основні біопараметри життєдіяльності рачків. Спостерігається висока смертність рачків першого покоління (78%), посаджених у розчини з препаратом, низька тривалість життя самок. Народжуване потомство від самок в ряду поколінь нежиттєздатне, відтворення потомства призупиняється в основному на рівні II покоління. Із потомства II покоління лише одна самка на 8 добу дала 4 ювеніси III покоління 1 вимету, яке померло через добу. За 50 мг/дм³ відтворення потомства призупиняється на рівні другого покоління. У порівнянні з контролем продуктивність самок за концентрації 25 мг/дм³ знижується на 66,5%. Зниження продуктивності у разі нижчих концентрацій була в межах 30,4÷17,6%. Найменше зниження продуктивності самок (на 9,2%) спостерігалось за концентрації 0,001 мг/дм³.

За концентрації 25 мг/дм³ статевозрілість молоді *C. affinis* затримувалася і була довшою, ніж в контролі та за нижчих концентрацій на 1,42 доби. Самки дали лише 5 поколінь, тоді, як в контролі та в діапазоні концентрацій 0,001–10 мг/дм³ за цей же період було 6 поколінь. Сумарна кількість потомків в середньому для 5 поколінь становила 33,58% від контролю, при достовірності > 99,9%. Меншою мірою пригнічення життєдіяльності рачків спостерігалось за нижчих концентрацій. За 10 мг/дм³ статевозрілість рачків затримувалася

лише в I поколінні, а сумарна кількість потомків в середньому для 6 поколінь складала 72,1%, від контролю. На такому ж рівні спостерігалось зниження сумарної продуктивності і при концентраціях 1,0 та 0,1 мг/дм³.

Ключові слова: гіллястовусі ракоподібні, еколого-токсикологічна оцінка, *Ceriodaphnia affinis*, ізопропіламінна сіль, гліфосат, гербіцид, гідрофауна, вимет, самка.

Вступ.

Прогресивне зростання антропогенного впливу на біосферу зумовлене інтенсивним розвитком сучасних технологій у секторі сільського господарства і є головною причиною забруднення довкілля. Одним із найбільш розповсюджених видів техногенного впливу є забруднення водойм хімічними засобами захисту рослин, що несприятливо впливає на структуру біотопів та стан певних організмів. Можливість потрапляння їх у водойми разом зі стоковими водами з полів створює постійні ризики для гідрофауни загалом. Пестицидне забруднення негативно впливає на біологічні показники живих організмів, зокрема, на їхній репродуктивний потенціал. Оцінка впливу забруднювачів та оцінка змін у біосистемах є критичним питанням щодо їхнього впливу.

Стан водних біосистем адекватно відображують біомаркери (тест-об'єкти, «організмів-мішеней»), які з практичної точки зору дають змогу отримати суттєву інформацію, ніж простий аналіз рівня забруднення абіотичних компонентів середовища чи морфометричних даних біот. Біомаркери є інтегральною оцінкою впливу всього комплексу екоотоксикантів з усіма існуючими, але часто невідомими, синергетичними та антагоністичними ефектами. Крім того, вони дають

можливість оцінювати будь-які еко-токсикологічні ефекти та виявляють найбільш ранню реакцію екосистеми на вплив забруднення.

Порушення на молекулярному рівні лежать в основі патологічних процесів і відбиваються на подальших, вищих рівнях біологічної організації, у тому числі і структурно-функціональної організації екосистем.

Наші дослідження стосувалися впливу гербіциду Директор, діючою речовиною (д.р.) якого є ізопропіламінна сіль гліфосату, 410 г/дм³ на одному із представників планктонних гіллястовусих рачків-фільтраторів, зокрема на *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Препаративна форма гербіциду – водний розчин (в.р.) з різким неприємним запахом.

Препарат Директор (виробництво Китаю) – системний гербіцид широкого спектру дії. Уже починаючи з 70-х рр. ХХ ст. гербіцидні властивості гліфосату досить інтенсивно вивчалися. Щоправда найбільша кількість публікацій були присвячені раундапу, ГДК якого у воді рибогосподарських водойм становила 0,001 мг/дм³, а у водоймах побутового використання – 0,1 мг/дм³ (Мельников Н.Н., 1995). Маючи високу гербіцидну активність виробництво гліфосату відразу вирросло до промислових об'ємів. У світі було зареєстровано більш ніж 90 торгових назв гербіцидів на основі гліфосату, які викорис-

товувалися у 119 країнах світу понад 100 сільськогосподарських культурах (Pechlaner R., 2003). Варто зазначити, що в Україні станом на 2021 рік зареєстровано 71 препарат на основі гліфосату, д.р. ізопропіламінна сіль [1]. Усі ці препарати зареєстровані в основному до 2027-2030 рр., тоді як країни ЄС призупиняють застосовувати гліфосатні препарати в сільському господарстві. Застосування гербіцидів на основі гліфосату в Україні складає приблизно 2 тисячі т.

Відомо, що гліфосат застосовували як засіб хімічної боротьби з водними рослинами (водний гіацинт, сальвінія, ряска, рдести, очерет звичайний) під час створення ними перешкод у водокористуванні, про що зазначено у статтях Haag Kim H., Ulenn Margaret S., Yordan Yacqueline C. (1988), Hartman William A., Martin dan B. (1985), Astiz S., Alvarez H. (1994), Kay Stratford H. (1995), Мартінова А.Н, Красновидова А.Н. (1996), Tresnakova, N., Stara, A., & Velisek, J. (2021). Зазначено, що токсичність гліфосату для водних рослин залежить від величини концентрації й експозиції. Варто пам'ятати і про середовище (Eloranta V., Kuivasniemi K., 1982), відмічено, що токсичність для *Selenastrum carpicornutum* у воді оліготрофних озер вище, ніж у воді дистрофних озер. Автори (Chan Kwong-yu, Leund S. C., 1986) зазначають, що водна мікрофлора проявляє більш високу чутливість до гліфосату, аніж мікрофлора ґрунту. У перші 10-15 діб після внесення гліфосату у водойму спостерігалася різке зниження чисельності сапрофітних бактерій, але через деякий час вони відновлювалися до попереднього рівня. Скоріш за все це відбувалося через розвиток резистентної популяції. Глі-

фосат слабо впливав на дихання, дегідрогеназну і протеїназну активність *Aeromonas hydrophila* але пригнічував їх у *Pseudomonas chlororaphis*.

Чиста культура *Euglena gracilis* пригнічувалася гліфосатом і гинула за концентрації 1 ммоль, а ріст *Chlorella soroniniana* пригнічувався на 50% за 17,7 ммоль (Carlisle S.M. Trevors J.T., 1988). Власні досліді з гербіцидом санглі (д.р. ІПА гліфосату, 41%) показали, що за концентрації 1-20 мг/дм³ спостерігалася стимуляція росту зеленої водорості *Selenastrum gracile*, максимальна стимуляція відмічена при 1 мг/дм³. Ефект пригнічення цього виду водорості спостерігався при концентрації 30 мг/дм³ і вище. Отже, препарат на основі гліфосату (д.р. ізопропіламінна сіль, 41%) може одні види водоростей пригнічувати та призводити до загибелі, а для інших проявляти стимулювальну дію.

Edwards W.M., Triplett G.B. (1980) вивчали перенесення гліфосату зливними стоками в межах водозбірної басейну. За умови випадання дощів відразу після їхньої обробки, з полів виносилося до 99% препарату від загального виносу за відповідний період. Найвищі концентрації гліфосату (5,2 мг/дм³) були виявлені у зливних стоках, коли дощ пройшов через добу після обробки полів гліфосатом. Через 4 місяці після обробки полів гліфосат був виявлений у зливних стоках в концентрації 2 мкг/дм³. У випадку обробки полів гліфосатом у мінімальних дозах, концентрація препарату у зливних стоках через 9-10 діб не перевищувала 100 мкг/дм³, а через 2 місяці падала до 2 мкг/дм³.

Є низка літературних джерел із досліджень токсичності гліфосату для планктонних та бентосних організмів. За даними довідника (А

World Compendium, 1997) EC_{50} (48 год) ізопропіламіної солі гліфосату для *D.magna* становила 930 мг/дм³. За іншими даними, (Manual on Development, 1999) показники EC_{50} (48год) гліфосату для *D.magna* в аерованій воді становила 37 мг/дм³, в неаерованій – 24 мг/дм³. Дані бази PPDB за 2021 рік поновлені і EC_{50} (48 год) ППА гліфосату для дафній становить > 471мг/дм³, NOEC (21 доба) 42,9мг/дм³; EC_{50} (48 год) гліфосату для дафній > 100мг/дм³, NOEC (21 доба) 12,5 мг/дм³. Поновлені показники даних бази PPDB для деяких тестів досить змінилися. Якщо для донних осаджень DT_{50} рівнялося 87 діб, то в поновленому варіанті DT_{50} становить вже 20,8 діб, це стосується і гліфосата і ізопропіламіної солі.

EC_{50} (48 год) препарату раундап (д.р. ППА гліфосату, 41%) для *D. magna* за температури 22°C, рН -7,4 і твердості води 272 мг/дм³ становила 2,95 (2,60÷3,40) мг/дм³; LC_{50} (96 год) для *Orconectes nais* за вищезазначених умов становила 7,0 (5,6÷8,7) мг/дм³; LC_{50} (48) для *Gammarus pseudolimnaeus* при цих же умовах і t -12°C – 43,0 (28,0÷66,0) мг/дм³. При за же умов середовища LC_{50} (48) раундапу для *Chironomus plumosus* становила > 10 мг/дм³; > 55(31,0÷97,0) мг/дм³; > 56 мг/дм³ (за рН 6,6). Варто зазначити, що токсичність для тест-об'єктів залежала від температурних умов, рН середовища та твердості води (Mayer, Foster L., Jr., and Mark R. Eilersieck, 1986).

Загалом літературних джерел із впливу гербіцидних препаратів на основі гліфосату, особливо, з д.р. ППА гліфосату, 41% та 48% є достатньо в ЄС, США і, в більшості випадків для планктонних гідробіонтів вони проявляють токсичність.

Розчинність гліфосату у воді при 25°C становить 12 г/дм³; за рН 1,9 і 20°C 10,5 г/дм³; ізопропіламіної солі – 1050 г/дм за рН 4,3 і 25°C (26 The e-Pesticide Manual, 2009). За даними ВООЗ щодо якості питної води (2005), гліфосат зберігає стабільність у воді за рН 3, 5, 6 і 9 за 35°C. Деградація гліфосату у воді та водних осадках розкладається, головним чином, мікроорганізмами і швидше в аеробних умовах.

У даній роботі приведені результати дослідження токсичного впливу гербіциду директор (д.р.іпа гліфосату, 41%) на життєздатність планктонного рачка в хронічних дослідях.

Метою роботи було дослідження впливу гербіциду Директор, в.р. на показники життєдіяльності *C. affinis* в шести поколіннях та оцінка токсичності гербіциду. Головним критерієм токсичності є смертність тест-об'єктів в токсичному середовищі, стан і ступінь розвитку гонад і яєць у самок та їхня продуктивність.

Матеріали і методи дослідження.

В якості тест-об'єкту для вивчення дії гербіциду в хронічних дослідях був взятий планктонний гіллястувий рачок-фільтратор *Ceriodaphnia affinis Lilljeborg*. Цей вид поряд із тест-об'єктом *Daphnia magna* застосовують як стандартний тест-об'єкт у водній токсикології.

Під час проведення досліджень були використані методики авторів, зокрема, Пидгайка М.Л. (1971), Строганова Н.С. (1971), Крайнюкова О.М. (1997), а також ДСТУ 4174:2004 (2004) та інших нормативних документів. Вплив препарату на *C. affinis*, досліджували за концентрацій 50;

25; 10; 1; 0,1; 0,01; 0,001 мг/дм³ та контроль. Розрахунки концентрацій проводили за діючими речовинами. Досліди проводили на водопровідній воді двотижневого відстою. У кожній склянці знаходилося по 1 екз. *C. affinis*, повторність десятиразова. За кожним поколінням рачків велися спостереження впродовж 10 діб. Розчини концентрацій гербіциду в склянках змінювали через 2 доби на третю. Кількість кисню в розчинах впродовж дослідів коливалася від 8,5 до 8,9 мг/дм³, рН від 7,5 до 7,8. Твердість води становила 5,67 мг екв./дм³. Досліди проводили за постійної температури 22,5±0,5°C.

Токсичність гербіциду в дослідях оцінювали за його впливом на основні біологічні параметри життєдіяльності рачків: смертність, тривалість життя рачків, тривалість ембріонального і постембріонального розвитку, кількість виметів від однієї самки за період дослідження, кількість молоді в одному виметі самки за період дослідження. Інтегральним показником була продуктивність тест-об'єкта при заданих концентраціях, тобто загальна кількість потомства дана самками за період дослідів кожним поколінням окремо і в середньому для популяції.

Отриманий матеріал систематизується і статистично обробляється для отримання достовірних середніх показників (Рокицкий П.Ф., 1961).

Результати дослідження та їх обговорення.

Під час проведення гострих дослідів з препаратом Директор, в.р. за концентрації 50 мг/дм³ спостерігали 95% загибель молоді *C. affinis*. У гострих дослідів за концентрації 50 мг/дм³ лише 5% рачків вижили і

навіть на 6 добу заклали яйця у виводкові камери. Тому під час проведення хронічних дослідів було прийняте рішення, що потрібно ще раз повторити дослідження з концентрацією 50 мг/дм³ гербіциду.

У розчини з концентрацією гербіциду 50мг/дм³ за тиждень було посаджено 85 екземплярів молоді. На 6- добу смертність рачків складала 66 особин або 77,65%. Решта самок (19 екз. або 22,35%) дали перший вимет молоді на шосту добу. Кількість молоді під час першого вимету самок не перевищувала 3 екземплярів. У деяких самок спостерігалось розмоктування яєць та ембріонів у вивідкових камерах, що свідчить про те, що гербіциду властива ембріотоксична дія. Після народження молоді яйця у вивідкову камеру самок поступали через 2–3 доби, а не відразу після линьки самки. Спостерігалось також, що у самок із вивідкової камери випадали яйця. 13 самок із 19 екз. загинуло на 13 добу, за рештою – спостереження не проводили.

За 13 діб, самки (19 екз.) дали по 2 3 вимети ювенальної молоді, що становило всього 86 екз. молоді другого покоління. Народжуване потомство від самок I покоління було нежиттєздатним, тривалість життя його складала 2-3–5 діб. З потомства II покоління лише одна самка на 8 добу дала 4 ювеніси III покоління 1 вимету, яке померло через добу.

Отже, відтворення потомства за концентрації 50 мг/дм³ гербіциду призупиняється на рівні II–III поколінь.

Вплив гербіциду за концентрації 25 мг/дм³ і нижче показав значно кращі результати. Аналіз результатів дослідів показав, що постембріональний розвиток рачків *C.*

affinis у контролі і при концентрації 0,001 мг/дм³ протікав на одному рівні впродовж всього дослідження, жодних відхилень не спостерігалось. У середньому для шести поколінь період постембріонального розвитку молоді *C. affinis* протікав за 5,3 доби.

В діапазоні концентрацій 0,01–10 мг/дм³ період постембріонального розвитку молоді затримувався на 3–20% порівняно з контролем лише в окремих поколіннях. В середньому для поколінь відхилення від контролю були в межах 1–4%. Статистична обробка показала недостовірність результатів.

При концентрації гербіциду 25 мг/дм³ період постембріонального розвитку рачків протікав на рівні контролю лише в першому поколінні. В наступних чотирьох поколіннях постембріональний розвиток рачків був довшим, ніж в контролі на 20–40%, ($P > 95$). В середньому для п'яти поколінь постембріональний розвиток церіодафній протікав за 6,72 доби. Різниця між дослідом і контролем статично достовірна, $P > 99\%$. Отже, гербіцид в концентрації 25 мг/дм³ проявляв негативний вплив на постембріональний розвиток *C. affinis*, затримуючи його порівняно з контролем і нижчими концентраціями гербіциду. Така затримка статевозрілості рачків не дала змоги прослідкувати за життєдіяльністю молоді *C. affinis* VI покоління за цієї концентрації та призвела до значного зниження продуктивності самок.

В діапазоні концентрацій 0,001–10 мг/дм³ середня кількість послідів у ряду шести поколінь і в середньому для популяції, була на рівні контролю. Відхилення від контролю спостерігалось як в сторону підвищення показника на 6%, так і в сторону зни-

ження показника на 7,5%. Статистична обробка результатів різниці між дослідом і контролем показала, що вони несуттєві, $P < 95\%$.

При концентрації гербіциду 25 мг/дм³ середня кількість виметів була меншою, ніж в контролі в I та IV–V поколіннях, зниження показника було в межах 40–55%, при $P > 95\%$. В II та III поколіннях зниження показника було всього на 11–12%, $P < 95\%$. В середньому для популяції кількість виметів самою складала 69% від контролю, $P > 90\%$.

Отже, досліджуваний гербіцид проявляв негативну дію на показник кількості виметів від однієї самки лише за концентрації 25 мг/дм³.

Важливим біопараметром, який найбільше позначається на продуктивності тест-об'єкту є кількість молоді в одному виметі самки. У таблиці 1, наведені мінімальні і максимальні показники середньої кількості молоді в одному виметі самки в ряду поколінь.

Як видно з таблиці 1, в контролі мінімальні і максимальні значення біопараметра впродовж всього досліді були вищими, ніж у досліді з гербіцидом в усьому діапазоні концентрацій. Це належить і до середніх показників для поколінь.

Під дією гербіциду найбільше зниження показника кількості молоді в одному виметі самки в ряду поколінь спостерігалось в концентрації 25 мг/дм³. У середньому показник складав 5,03 екз. рачків на один вимет, що майже вдвічі менше, ніж у контролі. В середньому для поколінь кількість молоді в одному виметі самки складала 50,86% від контролю, зниження – на 49%, при достовірності $> 99,9\%$.

У діапазоні концентрацій 0,1–10 мг/дм³ кількість молоді в одному

1. Мінімальні і максимальні показники середньої кількості молоді у виметі однієї самки в контролі і дослідах з гербіцидом

Концентрації, мг/дм ³	Діапазон коливань		Середнє для 6-и поколінь	Δ	% від контролю	P, %
	min	max				
Контроль	8,94	11,15	9,98±0,471	–	100	–
0,001	7,45	9,05	8,46±0,418	1,52	84,769	<95
0,01	6,76	10,64	8,51±0,461	1,47	85,270	<95
0,1	6,53	– 9,06	7,85±0,425	2,13	78,657	>90<95
1,0	6,33	9,63	7,84±0,393	2,14	78,557	>90<95
10,0	7,40	8,64	8,06±0,423	1,92	80,761	>90<95
25,0*	3,60	6,81	5,03±0,360	4,86	50,860	>99,9

*–при концентрації 25 мг/дм³ приведені середні показники по 5-и поколінням

виметі самки в середньому знижувалася щодо контролю на 19,24–21,44%. Достовірність результатів – > 90 < 95 %.

За найменших концентрацій гербіциду (0,001 і 0,01мг/дм³) в середньому зниження кількості молоді в одному виметі самки щодо контролю було на 15%, за P < 95%.

Найменші відхилення від контролю тих чи інших біопараметрів, за якими велись спостереження, як в сторону зниження, так і в сторону підвищення, помітно позначалися на продуктивності самок *C. affinis*.

Сумарна кількість потомства тест-культури є основним критерієм оцінки токсичності гербіциду.

В таблиці 2, наведені середні значення сумарної кількості потомства на одну самку в ряду поколінь за період дослідження та їхній процент від контролю. Як видно з таблиці 2, сумарна кількість потомства майже в усіх поколіннях під впливом гербіциду так чи інакше знаходилася нижче контролю. Виключенням були лише концентрації 0,001–0,01 мг/дм³ у II та VI поколіннях самок, де показник перевищував контроль. У середньо-

му для 6 поколінь % зниження щодо контролю за цих концентрацій становив всього 9,2 17,6%.

За концентрацій 0,1–10 мг/дм³ в середньому для усіх поколінь сумарна кількість потомків складала 69,6–72,1% від контролю. Як видно, зниження показника знаходилося на рівні 28–30%, за P > 95%.

Найбільше зниження сумарної кількості потомства спостерігали за концентрації 25 мг/дм³ впродовж всього дослідження. В середньому для популяції кількість потомків складала 33,5% від контролю, за P > 99,9%.

Зниження продуктивності (сумарної кількості потомків) можуть зумовлювати різні чинники та їхні комбінації. Так, за концентрації 25 мг/дм³ гербіциду це зв'язано з пригніченням всіх біопараметрів життєдіяльності рачків, а саме: скорочення тривалості життя самок до 8 діб (80% смертності) та 10 діб (100% смертності) у I поколінні самок, скорочення тривалості життя самок у IV поколінні (100% смертність на 7 добу); значна затримка статевої зрілості рачків в I поколінні самок і меншою мірою в наступних; зниження кількості ви-

2. Середні значення сумарної кількості потомства на одну самку в ряду поколінь у дослідах із гербіцидом

Концентрація, мг/дм ³	Покоління							
	I	II	III	IV	V	VI	Середнє	R,%
Контроль	33,6±4,932 100,0	32,4±4,132 100,00	32,2±1,557 100,00	43,8±3,342 100,00	44,6±5,932 100,00	29,0±3,74 100,00	35,9±1,808 100,00	–
0,001	30,8±4,601 91,7	35,2±3,15 108,6	29,8±1,083 92,5	29,6±2,863 67,6	33,6±3,962 75,3	36,6±3,817 126,2	32,6±1,267 90,8	>90<95
0,01	24,8±1,387 73,8	35,25±4,028 108,8	22,0±2,272 68,3	36,2±2,701 82,6	27,6±4,117 61,9	31,6±2,138 108,9	29,6±1,446 82,4	>95
0,1	29,2±3,542 86,9	28,2±4,954 87,0	19,6±2,885 60,9	22,4±2,307 51,1	29,0±2,716 65,0	21,6±1,717 74,5	25,0±1,306 69,6	>95
1,0	31,8±3,895 94,6	19,0±4,65 58,6	22,4±2,413 69,6	23,4±2,109 53,4	31,6±1,89 70,8	25,4±1,255 87,6	25,6±1,34 71,3	>95
10	24,2±2,382 72,0	25,8±5,888 79,6	22,2±3,008 68,9	30,5±1,5 69,6	27,2±2,631 61,0	26,6±3,85 91,7	25,9±1,31 72,1	>95
25	7,2±1,917 21,4	16,4±0,836 50,6	21,8±1,85 67,7	7,2±0,651 16,4	9,8±0,651 22,0	–	12,5±1,293 33,5	>99,9

* – чисельник – кількісні показники; знаменник – % від контролю

метів та кількість молоді в одному виметі самки; низька життєздатність молоді другого покоління, яку самки родили у першому виметі.

Аналогічна картина, лише в меншій мірі, спостерігалася у II та III поколіннях самок за концентрації 10 мг/дм³. Найменші відхилення від контролю, навіть статистично недостовірні, відбиваються на показниках продуктивності рачків.

Варто зазначити, що гербіцид у концентраціях 50, 25 і 10 мг/дм³ має властивості ембріотоксичної дії. Процес дроблення яєць уповільнювався і тоді яйця починали розсмоктуватися. Блокувався синтез речовин, які йшли на побудову покривних тканин ембріону. Такі порушення найбільше характерні для першої кладки яєць, особливо, в перших поколіннях самок. Дуже часто в окремих самок спостерігали розчинення кладки яєць на III–VI стадії розвитку. Стадії розвитку приводимо за J. Green (1956).

Усі ці порушення призводять до

зниження відтворювальної (репродуктивної) функції самок і зниження їхньої продуктивності.

Аналізуючи результати хронічних дослідів видно, що до недіючих концентрацій препарату можна віднести концентрації 0,001–0,1 мг/дм³.

Зниження небезпеки використання пестицидів значною мірою може бути досягнуто розробкою нових препаратів з високою вибірковістю щодо «організмів-мішеней» та екологічної безпеки, зокрема, створенням біологічних засобів на основі бактеріальних токсинів, продуктів життєдіяльності мікроорганізмів тощо.

Висновки та перспективи

Гербіцид Директор проявляє найбільшу токсичну дію для *C. affinis* в концентрації 50 мг/дм³. Пригнічуються всі основні біопараметри життєдіяльності рачків. Спостерігається висока смертність рачків першого покоління (78%), посаджених у розчини

з препаратом, низька тривалість життя самок. Народжуване потомство від самок в ряду поколінь нежиттєздатне, відтворення потомства призупиняється в основному на рівні II покоління. Із потомства II покоління лише одна самка на 8 добу дала 4 ювеніси III покоління 1 вимету, яке померло через добу.

За концентрації 25 мг/дм³ статево-зрілість молоді *C. affinis* затримувалася і була довшою, ніж в контролі та за нижчих концентрацій на 1,42 доби. Це і спричинило, що самки дали лише 5 поколінь, тоді, як у контролі та в діапазоні концентрацій 0,001–10 мг/дм³ за цей же період було 6 поколінь. Сумарна кількість потомків в середньому для 5 поколінь становила 33,58% від контролю, за достовірності > 99,9%.

Меншою мірою пригнічення життєдіяльності рачків спостерігалось при нижчих концентраціях. За 10 мг/дм³ статево-зрілість рачків затримувалася лише в I поколінні, а сумарна кількість потомків в середньому для 6 поколінь складала 72,1%, від контролю. На такому ж рівні спостерігалось зниження сумарної продуктивності і за концентрацій 1,0 та 0,1 мг/дм³.

Найменше зниження сумарної кількості потомства спостерігалось при дії гербіциду в концентраціях 0,001–0,01 мг/дм³. Народжуване потомство самками було життєздатним, не відмічено ембріотоксичної дії, смертності рачків та інших відхилень від контролю. Ці концентрації гербіциду можна віднести до недіючих.

При концентраціях препарату 50, 25 та 10 мг/дм³ ізопропіламінна сіль гліфосату проявляла ембріотоксичну дію.

Слід зазначити, що країни ЄС останні роки призупиняють застосування гліфосатні препарати в сіль-

ському господарстві. На нашу думку, повністю відмовитися від застосування засобів захисту рослин на даний час в Україні практично неможливо. Застосування пестицидів потребує насамперед підвищення культури, дотримання законів по охороні води і водних об'єктів загалом, які призвані знизити загрозу їхнього забруднення. Також препарати на основі гліфосату повинні мати обмеження в санітарній зоні (2 км) рибогосподарських водойм та водойм загалом, у яких би дози вони не застосовувалися на ґрунтах.

References

1. State register of pesticides and agrochemicals approved for use in Ukraine. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine, Kyiv, 2022. Access mode: <https://bit.ly/38jAEuc>
2. DSTU 4174:2003 Water quality. Determination of chronic toxicity of chemicals and water to *Daphnia magna* Straus and *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 10706:2000, MOD). Access mode: <https://bit.ly/3Ma50hA>
3. Melnikov N.N. etc. Pesticides and plant growth regulators: Handbook. - M.: Khimiya, 1995. - 575 p. Access mode: <http://www.cnsb.ru/AKDIL/0034/default.shtm>
4. Methodical guidelines for biotesting of water RD 118-02-90 - M.: 1991. - 47 p.
5. Method for the determination of chronic water toxicity on the crustacean *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. KDN 211.1.4.056-97. - Kiev, 1997. - 13 p.
6. Pidgaiko M.L. Application of production-biological "cage" method in the study of pesticide toxicity to zooplankton. Sat. "Methods of biol. research on water toxicol." M.: Nauka, 1971. - S.169-172
7. Rokitsky P.F. Fundamentals of variation statistics for biologists. Minsk: Belarus Publishing House. Univ., 1961. -223 p.

- Access mode: <https://www.twirpx.com/file/2667809/>
8. Guidelines for determining the toxicity of water, bottom sediments, pollutants and drilling fluids by biotesting. - M: REFIA, NIA-Priroda, 2002. - 118 p. Access mode: <https://bit.ly/3stSfX3>
 9. Stroganov N.S. Method for determining the toxicity of the aquatic environment. Sat. "Methods of biological research on aquatic toxicology". - M.: Science. 1971.- P.14 60. Access mode: <https://www.chem21.info/article/205926/>
 10. Astiz S., Alvarez H. Indirect effects of glyphosate application in the control of *Salvinia auriculata* in experimental systems: Pap, Congr. Int. Assoc. Theor. And Appl. Limnol., Barcelona, 1992. Pt 4 / Verh. // Int. Ver theor. Und angew. Limnol. - 1994. - 25, Pt 4. - с. 2064-2067. <https://doi.org/10.1080/03680770.1992.11900562>
 11. Biological test method: Test of reproduction and survival using the Cladoceran *Ceriodaphnia dubia* // Environmental Protection Conservation and Protection Environment Canada. Report EPS 1/RM/21. Second Edition - 2007. Режим доступу: <https://bit.ly/39ladP6>
 12. Brovini, E.M., Cardoso, S.J., Quadra, G.R. et al. Glyphosate concentrations in global freshwaters: are aquatic organisms at risk?. *Environ Sci Pollut Res* 28, 60635–60648 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14609-8>
 13. Carlisle, S.M., Trevors, J.T. Glyphosate in the environment. *Water Air Soil Pollut* 39, 409–420 (1988). <https://doi.org/10.1007/BF00279485>
 14. Chan, Ky., Leung, S.C. Effects of paraquat and glyphosate on growth, respiration, and enzyme activity of aquatic bacteria. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 36, 52–59 (1986). <https://doi.org/10.1007/BF01623474>
 15. Edwards W. M., Triplett G. B. A Watershed Study of Glyphosate Transport in Runoff, Environmental Quality. - 1980. - Vol. 9, part 4. - P. 661-665. <https://doi.org/10.2134/jeq1980.00472425000900040024x>
 16. Glyphosate and AMPA in Drinking-water. – Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO. 2005. – 10 p. Режим доступу: <https://bit.ly/3w3Q5zF>
 17. Green J. Growth, size and reproduction in *Daphnia* (Crustacea: Cladocera). *Proceedings of the Zoological Society of London*. Vol. 126, Part 2, March 1956, p.p. 173-203. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1956.tb00432.x>
 18. Hartman W.A., Martin D.B. Effects of four agricultural pesticides on *Daphnia pulex*, *Lemna minor* and *Potamogeton pectinatus*, *Bull Environ Contam Toxicol.* 1985 Nov;35(5):646-51. doi: 10.1007/BF01636568.
 19. Manual on Development and Use of FAO Specifications for Plant Protection Products, January 1999, Rome. Режим доступу: <https://www.fao.org/3/i5713e/i5713e.pdf>
 20. Mayer, Foster L., Jr., and Mark R. Ellersieck. Manual of Acute Toxicity: Interpretation and Data Base for 410 Chemicals and 66 Species of Freshwater Animals // U.S. Fish Wildl. Serv., Resour. Publ. - 1986. - 579 p. Режим доступу: <https://bit.ly/3LisXC8>
 21. Pechlaner R. Glyphosate in herbicides: An overlooked threat to microbial bottom-up processes in freshwater system // *Vern. (Int.Ver. theor. und angew Limnol)*. 2003. 28, r. 4. -P. 1831 1835. <https://doi.org/10.1080/03680770.2001.11901944>
 22. Solomon, K., & Thompson, D. (2003). Ecological risk assessment for aquatic organisms from over-water uses of glyphosate. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 6(3), 289-324. <https://doi.org/10.1080/10937400306468>
 23. The pesticide manual: a world compendium. Режим доступу: <https://bit.ly/3yA51HC>
 24. Tresnakova, N., Stara, A., & Velisek, J. (2021). Effects of Glyphosate and Its Metabolite AMPA on Aquatic Organisms. *Applied Sciences*, 11(19), 9004. <https://doi.org/10.3390/app11199004>

E.P. Shcherban, O.O. Sykalo (2022).

ECOLOGICAL AND TOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF THE HERBICIDE EXPOSURE DIRECTOR, W.S. (A.I. ISOPROPYLAMINE SOLT GLYPHOSATE, 410 G/DM³) ON BRANCHED CRUSTACEANS CERIODAPHNIA AFFINIS LILLJEBORG

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 13(1-2): 89-99

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/16265>

[https://doi.org/10.31548/biologiya13\(1-2\).2022.004](https://doi.org/10.31548/biologiya13(1-2).2022.004)

Abstract. Analysis of the chronic experiments results showed that the herbicide Director (active ingredient - isopropylamine salt of glyphosate, 41%) is a substance toxic to *Ceriodaphnia affinis*. This herbicide is characterized by embryotoxicity.

Herbicide Director has the greatest toxic effect on *C. affinis* at a concentration of 50 mg/dm³. All major bioparameters of crustacean activity are suppressed. There is a high mortality of first-generation crustaceans (78%) planted in solutions with the herbicide, low life expectancy of females. The offspring born to females in a number of generations are unviable; reproduction of offspring is suspended mainly at the level of the second generation. Only one female from the second generation offspring on the 8th day gave 4 juveniles of the third generation of the 1st brood, which died a day later.

At 50 mg/dm³ offspring reproduction is suspended at the level of the second generation. The productivity of females at the herbicide concentration of 25 mg/dm³ is reduced by 66.5% compared with the control. The productivity decrease at lower concentrations was in the range of 30.4 ÷ 17.6%. The smallest decrease in female productivity (by 9.2%) was observed at a concentration of 0.001 mg/dm³.

At the herbicide concentration of 25 mg/dm³, the puberty of young *C. affinis* was delayed and was longer than in the control and at lower concentrations by 1.42 days. Females gave only 5 generations, while in the control and in the concentration range of 0.001–10 mg/dm³ for the same period there were 6 generations. The total number of offspring on average for 5 generations was 33.58% of control, with a reliability of > 99.9%.

To a lesser extent, inhibition of crustacean activity was observed at lower herbicide concentrations. At 10 mg/dm³, the sexual maturity of crustaceans was delayed only in the first generation, and the total number of offspring on average for 6 generations was 72.1% of control. At the same level, a decrease in total productivity was observed at concentrations of 1.0 and 0.1 mg/dm³.

Key words: branched crustaceans, ecological and toxicological assessment, *Ceriodaphnia affinis*, isopropylamine salt, glyphosate, herbicide, hydrofauna, offspring, female.