



УДК 574.64:661.162:597-13

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОКСИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГЕРБИЦИДОВ НА РАННИЙ ОНТОГЕНЕЗ РЫБ

© 2019 О. А. Зинчук, И. Б. Баимова, Е. С. Строева

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»),
 Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону 344002, Россия
 E-mail: sergio156ar@yandex.ru*

Аннотация. В ряду гербицидов нового поколения наблюдается быстрый рост новых смесевых препаратов с несколькими действующими веществами и с малыми нормами расхода, разрушающихся в течение одного периода вегетации и не оставляющих ядовитых остатков в окружающей среде. Целью исследования было оценить комбинированный эффект активных ингредиентов смесевого гербицида *Чеккер Гранд*, *ВДГ* и несмесевого пестицида *Алион*, *КС*, определить характер и степень их токсического влияния на гидробионтов. Направлением исследования была оценка токсического действия пестицидов на эмбрионы, мальков бычка-кругляка, предличинки осетра. Оценивались токсикометрические параметры, длительность инкубационного периода, выживаемость, скорость прохождения стадий, динамика выклева, патоморфология, морфометрические параметры (длина и вес тела), мутагенез. Изучение токсического действия пестицидов выполнялось в условиях лабораторного эксперимента. Объектами исследования являлись препаративные формы и действующие вещества пестицидов. В качестве тест-объекта использовали икру и мальков бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus*), икру и предличинки осетра (*Acipenser gueldenstaedti*). На основании проведенных исследований установлено, что данные гербициды могут оказывать токсическое воздействие на процессы раннего онтогенеза бычковых рыб. Гербицид *Алион*, *КС* относится к особо токсичным пестицидам, а *Чеккер Гранд*, *ВДГ* — к среднетоксичным. Последний представляет собой более перспективный гербицид, рекомендованный для применения в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: гербициды, эмбрионы, токсичность, выживаемость, тератогенность

COMPARATIVE EVALUATION OF THE EFFECT OF TOXIC EXPOSURE TO MODERN HERBICIDES ON EARLY ONTOGENESIS OF FISH

O. A. Zinchuk, I. B. Baimova, E. S. Stroeва

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI "VNIRO"),
 Azov-Black Sea Branch of the FSBSI "VNIRO" ("AzNIIRKH"), Rostov-on-Don 344002, Russia
 E-mail: sergio156ar@yandex.ru*

Abstract. Among the herbicides of the new generation, a rapid expansion of new mixed compounds with several active ingredients is observed; they are characterized by small consumption rates, their decay during one growing

season and the absence of toxic residues in the environment after the decay. In this regard, the study was aimed to evaluate the combined effect of the active ingredients of the mixed herbicide *Checker Grand, water-dispersible granules (WDG)*, and non-mixed pesticide *Alion, suspension concentrate (SC)*, to determine the nature and extent of their toxic effects on hydrobionts. The toxic effect of these pesticides on the embryos and fry of round goby (*Neogobius melanostomus*), as well on sturgeon (*Acipenser guildenstaedti*) prelarvae was assessed. The following parameters were evaluated: toxicometric parameters, duration of incubation period, survival rate, stage passing rate, hatching dynamics, pathomorphology, morphometric parameters (body length and weight), and mutagenesis. The study of the toxic effects of the pesticides was performed in laboratory conditions. The targets of the research were preparative forms and active ingredients of the pesticides. Eggs and fry of round goby and eggs and prelarvae of sturgeon were used as test subjects. The research results showed that these herbicides can have a toxic effect on the early ontogenesis of gobies. The herbicide *Alion, SC* belongs to acutely toxic pesticides, whereas *Checker Grand, WDG* is a moderately toxic one. The latter is a more promising herbicide recommended for use in agriculture.

Keywords: herbicides, embryos, toxicity, survival, teratogenicity

ВВЕДЕНИЕ

Для современного этапа разработки пестицидов характерен поиск препаратов, обладающих высокой активностью в низких дозах (г/га), полезной для фауны и флоры, и невысокой опасностью для теплокровных животных. В ряду гербицидов наблюдается быстрый рост новых препаратов класса сульфонилмочевин, имидазолинов, пиразолов и ФОС, с малыми нормами расхода, разрушающимися в течение одного периода вегетации и не оставляющих ядовитых остатков в окружающей среде.

Гербициды — это большая и разнообразная группа загрязнителей водоемов. Их используют для борьбы с сорняками сельскохозяйственных культур, обработки посевов риса, вносят в мелиоративные и оросительные системы, водохранилища и другие водоемы для уничтожения растительности и устранения «цветения» воды [1]. Следует отметить, что гербициды мигрируют в пахотном горизонте на глубину до 200 см и попадают в горизонты подземных вод, которые в местах разгрузки выносят загрязнения в поверхностные водные объекты. Обладают высокой стабильностью и являются физиологически активными веществами, могут циркулировать в окружающей среде от нескольких недель до 2–3 лет. Применение устойчивых препаратов в значительных количествах на больших площадях, которые являются водосборными для тех или иных водных бассейнов, является причиной смывания их талыми, дождевыми и — при переносе — грунтовыми водами. Водные бассейны (реки, озера, пруды, водохранилища, моря) являются конечным пристанищем химических веществ, в данном случае гербицидов. Некоторые из них даже в низких концентрациях изменяют свойства воды — вкус, запах. Это, в

свою очередь, влияет на пищевые свойства рыбы, мяса. Одним из последствий загрязнения окружающей среды является процесс биологической концентрации остатков пестицидов.

В период раннего онтогенеза эмбрионы и мальки рыб из-за недостаточно сформированной системы защиты и невозможности ухода из зон загрязнения наиболее подвержены интоксикации [2, 3].

Цель исследования:

1. Определить характер хронического токсического действия смесового гербицида *Чеккер Гранд, ВДГ* и производного триазинов *Алион, КС* последнего поколения на рыб в период раннего постэмбрионального развития. Исследовать тератогенную и мутагенную активность гербицидов этих классов.
2. Выявить специфические эффекты воздействия гербицидов различных химических классов при хронической интоксикации.

Чеккер Гранд, ВДГ — гербицид системного действия, быстро поглощается листьями и частично корневой системой сорняков. Благодаря системному действию препарат проникает во все части растения и накапливается в точках роста. Мефенпир-диэтил, который является антидотом, способствует быстрому распаду действующего вещества (д. в.) йодосульфурон-метила в растениях, обработанных препаратом, что обеспечивает высокую селективность и применяется для ослабления фитотоксического воздействия некоторых гербицидных препаратов [4]. Воздействие мефенпир-диэтила на начальных стадиях острой интоксикации приводит к расстройству нервной системы у гидробионтов [5]. Мочевина и ее производные оказывают на рыб общетоксическое действие с преимуще-

ственным влиянием на нервную систему, кровь и кроветворение, что приводит к нарушению газообмена и асфиксии [1].

Литературные данные свидетельствуют, что одним из критериев оценки токсичности и опасности химических веществ может служить коэффициент распределения октанол/вода, который определяется как $K_{ow} = C(\text{октанол})/C(\text{вода})$, и обычно выражается в виде логарифма с основанием 10 ($\log K_{ow}$).

Чеккер Гранд, ВДГ, являясь сложным смесевым препаратом, имеет в своем составе 4 действующих вещества: 2 из которых (амидосульфурон, йодосульфурон-метил-натрия) относятся к классу сульфонилмочевин; третий (дифлюфеникан) — к классу феноксиникотинанилидов; четвертый (мефенпирдиэтил) — к пиразолам. Гербициды — производные сульфонилмочевин характеризуются очень низкими коэффициентами распределения октанол/вода (менее 1), тогда как производные феноксиникотинанилиды — высокими (более 4,9), а дериват пиразолы — наибольшим (6783). Соответственно, по степени токсичности они относятся к разным классам токсичности: сульфонилмочевины — к малотоксичным, производные феноксиникотинанилидов и пиразолы — к особо- и высокотоксичным пестицидам.

Действующим веществом *Алион, КС* является индазифлам (химический класс д. в. алкилазины (триазины)). Производные триазины (коэффициент распределения октанол/вода = 2,8) относятся к малотоксичным соединениям, но они могут представлять опасность вследствие их медленного разложения и кумулятивных свойств.

В связи с этим интерес представлял характер хронического воздействия смесевых гербицидов *Чеккер Гранд, ВДГ* и несмесевых *Алион, КС* на рыб в период раннего онтогенеза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Влияние гербицидов *Чеккер Гранд, ВДГ* и *Алион, КС* на ранний онтогенез рыб изучали на эмбрионах и мальках бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* (Pallas, 1811)) и предличинках осетровых (*Acipenseridae*).

Исследования на икре бычка проводили после ее сбора из природного морского водоема (Таганрогский залив) в период массового нереста. Предличинки осетра и мальков бычка-кругляка получали в лабораторных условиях.

Икру бычка на стадии ранней гастролы снимали с субстрата и помещали в емкости с растворами

гербицида. Продолжительность эксперимента составляла 12 суток [6–8].

Степень токсичности различных концентраций изученного вещества на развивающуюся икру оценивали по следующим показателям: выживаемость, длительность инкубационного периода, скорость прохождения стадий, патоморфологические признаки выклюнувшихся мальков. В ходе эксперимента ежедневно проводили учет погибших зародышей, фиксировали стадии развития [9, 10].

Влияние гербицида на раннее постэмбриональное развитие изучали на предличинках осетровых и мальках бычка-кругляка, выклюнувшихся в лабораторных условиях. Экспозиция острых опытов на мальках бычка-кругляка составляла 48 часов, хронических — 7 суток (от выклева до полного рассасывания желточного мешка). В течение эксперимента наблюдали за выживаемостью и поведенческими реакциями мальков. В конце опытов определяли темп линейного роста организмов [6, 7].

Тератогенный анализ токсического действия препаратов проводили на ключевых стадиях раннего онтогенеза, когда нарушения развития проявляются наиболее четко — на стадии выклева и стадии рассасывания желточного мешка. Рассчитывали процент уродливых особей [9]. Результаты всех проведенных экспериментов обрабатывали статистически, используя критерий Стьюдента [11, 12].

На основании результатов эксперимента по показателю выживаемости организмов рассчитывали токсикометрические параметры (летальные концентрации LK_{0} , LK_{16} , LK_{50} , LK_{84} , LK_{100}) методом пробит-анализа [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исходя из данных острых опытов, большей чувствительностью к гербициду отличались мальки бычка-кругляка. В связи с этим приводим данные исследований на бычке-кругляке. Опыты по установлению степени токсичности гербицида *Чеккер Гранд, ВДГ* на эмбрионах бычка-кругляка проводились в диапазоне концентраций 2,5–25,0 мг/л в течение 12 суток.

На основании данных по выживаемости оплодотворенной икры бычка-кругляка в растворах *Чеккер Гранд, ВДГ* рассчитаны токсикометрические параметры (табл. 1) с вычетом естественной гибели в контроле и опыте (поправка Аббота).

В растворах с максимальной концентрацией гербицида 25,0 мг/л развитие зародышей продол-

Таблица 1. Выживаемость* и токсикометрические параметры гербицидов *Чеккер Гранд*, *ВДГ* и *Алиона*, *КС* и их действующих веществ для рыб в период раннего онтогенеза (эмбрионы)

Table 1. Survival rate* and toxicometric parameters of herbicides *Checker Grand*, *WDG* and *Alion*, *SC* and their active ingredients for fish during the early stages of its ontogenesis (embryos)

Название препарата Drug name	Концентрация, мг/л Concentration, mg/l	Гибель, % Mortality, %	Токсикометрические параметры, мг/л Toxicometric parameters, mg/l
Контроль Control		0	
Чеккер Гранд, ВДГ Checker Grand, WDG	2,5	0	ЛК ₁₆ = 6,06
	5,0	13,33	ЛК ₅₀ = 9,87
	10,0	36,67	ЛК ₈₄ = 21,05
	25,0	100,0	
Д.в. Амидосульфурон A.i. Amidosulfuron	31,25–1000,0	0	ЛК ₁₆ >1000,0
Д.в. Иодосульфурон-метил натрия A.i. Iodosulfuron-methyl-sodium	31,25–1000,0	0	ЛК ₁₆ >1000,0
Д.в. Дифлюфеникан A.i. Diflufenican	10,0	0	ЛК ₁₆ = 17,36
	25,0	20,69	ЛК ₅₀ = 36,00
	50,0	65,52	ЛК ₈₄ = 74,69
	100,0	100,0	
Д.в. Мефенпир-диэтил A.i. Mefenpyr-diethyl	2,5–50,0		ЛК ₁₆ = 6,85
			ЛК ₅₀ = 14,14
			ЛК ₈₄ = 29,20
Алион, КС Alion, SC	0,5	0	ЛК ₁₆ = 1,19
	1,0	6,7	ЛК ₅₀ = 1,66
	1,5	40,0	ЛК ₈₄ = 2,13
	2,0	70,0	
	2,5	100,0	
Д.в. Индазифлам A.i. Indaziflam	0,1	0	ЛК ₁₆ = 0,45
	0,5	23,3	ЛК ₅₀ = 0,78
	1,0	70,0	ЛК ₈₄ = 1,12
	1,5	100,0	

* Данные с вычетом естественной гибели в контроле и опыте (поправка Аббота)

* Data with the subtraction of natural mortality in control and test (Abbott's correction)

жалось до этапа развития печеночно-желточной системы кровообращения (IX этап), затем наступала их гибель. Выклев отсутствовал.

В растворах с концентрацией гербицида 10,0 мг/л массовая гибель зародышей наступила на этапе начала гемоглобинового кровообращения (VIII этап), наблюдалась задержка выклева более чем на 2 суток. В растворах гербицида с концентрацией 5,0 мг/л гибель была минимальной (13,3 %), развитие эмбрионов проходило на уровне контрольных организмов.

В растворах *Чеккер Гранд*, *ВДГ* с концентрацией 2,5 мг/л все этапы эмбриогенеза проходили синхронно с контролем, без видимых нарушений. Гибель эмбрионов не превышала естественную в

контроле. Выклев проходил синхронно с контрольной группой.

Таким образом, по показателям продолжительности эмбриогенеза и выклева эмбрионов бычка-кругляка в растворах *Чеккер Гранд*, *ВДГ* концентрация 2,5 мг/л — недействующая, пороговая — 5,0 мг/л, по показателю выживаемости недействующая концентрация — 2,5 мг/л, пороговая — 5,0 (13,33 % гибели), по токсикометрическим параметрам пороговая — 6,06 мг/л.

Следующую серию опытов проводили на мальках бычка-кругляка, выклюнувшихся в лабораторных условиях.

В остром опыте были испытаны концентрации *Чеккер Гранд*, *ВДГ* в диапазоне 2,5–25,0 мг/л.

Расчетным методом определены пороговая концентрация *Чеккер Гранд*, ВДГ — 4,58 мг/л и среднелетальная — 8,19 мг/л. По степени острой токсичности для рыб, согласно классификации Л.А. Лесникова и К.К. Врочинского, *Чеккер Гранд*, ВДГ относится к группе среднетоксичных пестицидов.

В хроническом эксперименте оценивалось влияние гербицида *Чеккер Гранд*, ВДГ на мальков бычка-кругляка в диапазоне концентраций 1,0–25,0 мг/л (табл. 2).

Выявлено, что недействующей по выживаемости мальков была концентрация 1,0 мг/л. В растворах с концентрациями гербицида 2,5 и 5,0 мг/л

погибло 15 и 40 % мальков, соответственно. Гербицид в концентрации 10,0 мг/л обладал высокой токсичностью, вызывая гибель 70 % рыб. Летальной была концентрация 25,0 мг/л.

Рассчитаны пороговая концентрация *Чеккер Гранд*, ВДГ — 3,03 мг/л и среднелетальная — 6,21 мг/л.

На основании результатов острого и хронического экспериментов был рассчитан коэффициент функциональной кумуляции гербицида $J_{cum} = 1,17$, что соответствует слабой степени накопления токсического эффекта.

В концентрациях 1,0–2,5 мг/л гербицид не оказывал влияния на поведенческие реакции мальков.

Таблица 2. Выживаемость и токсикометрические параметры гербицидов, для мальков бычка кругляка и осетровых рыб

Table 2. Survival rate and toxicometric parameters of herbicides for fry of round goby and sturgeons

Название препарата Drug name	Концентрация, мг/л Concentration, mg/l	Гибель, % Mortality, %	Токсикометрические параметры, мг/л Toxicometric parameters, mg/l
Экспозиция опыта 7 суток / Experiment exposure 7 days			
Контроль Control		0	
Чеккер Гранд, ВДГ Checker Grand, WDG	1,0	0	ЛК ₁₆ = 3,03
	2,5	15	ЛК ₅₀ = 6,21
	5,0	40	ЛК ₈₄ = 14,07
	10,0	70	
	25,0	100	
Д.в. Амидосульфурон A.i. Amidosulfuron	50,0–500,0	0	ЛК ₁₆ >500,0
Д.в. Иодосульфурон-метил натрия A.i. Iodosulfuron-methyl-sodium	50,0–500,0	0	ЛК ₁₆ >500,0
Д.в. Дифлюфеникан A.i. Diflufenican	0,5	0	ЛК ₁₆ = 0,98
	1,0	20	ЛК ₅₀ = 3,46
	5,0	50	ЛК ₈₄ = 12,31
	10,0	80	
	20,0	100	
Д.в. Мефенпир-диэтил A.i. Mefenpyr-diethyl	0,1–25,0		ЛК ₁₆ = 9,07 ЛК ₅₀ = 13,61 ЛК ₈₄ = 17,10
Экспозиция опыта 7 суток / Experiment exposure 7 days			
Алион, КС Alion, SC	0,05	0	ЛК ₁₆ = 0,09
	0,1	20	ЛК ₅₀ = 0,32
	0,5	75	ЛК ₈₄ = 0,59
	1,0	100	
Д.в. Индазифлам A.i. Indaziflam	0,01	0	ЛК ₁₆ = 0,06
	0,05	15	ЛК ₅₀ = 0,15
	0,1	35	ЛК ₈₄ = 0,51
	0,5	85	
	1,0	100	

Чеккер Гранд, ВДГ в концентрациях 2,5 и 5,0 мг/л вызывал снижение темпа линейного роста мальков на 5 и 11 %, соответственно.

В растворах с концентрацией гербицида 1,0 мг/л длина опытных мальков соответствовала размерам контрольных экземпляров.

Недействующей концентрацией по показателю линейного роста бычков является величина 1,0 мг/л, пороговой — 2,5 мг/л.

В ходе наблюдений за развивающимися эмбрионами бычка-кругляка в растворах *Чеккер Гранд*, ВДГ с концентрациями 2,5–10,0 мг/л нарушений развития выявлено не было.

В эксперименте на мальках бычка-кругляка в концентрациях гербицида 1,0–10,0 мг/л патоморфологические признаки у мальков не наблюдались.

Исследования по установлению степени токсичности гербицида *Алион*, КС на эмбрионах бычка-кругляка проводились в диапазоне концентраций 0,5–2,5 мг/л в течение 12 суток (табл. 1).

В растворах с максимальной концентрацией гербицида 2,5 мг/л развитие зародышей продолжалось до этапа развития печеночно-желточной системы кровообращения (IX этап), гибель эмбрионов наблюдалась на всех стадиях развития.

В растворах гербицида с концентрациями 2,0 и 1,5 мг/л развитие эмбрионов на начальных этапах эмбриогенеза (III–IV этап) проходило на уровне с контролем, затем отмечалось замедление развития, наблюдалась растянутость стадий, нарушалась синхронность развития зародышей. На этапе начала гемоглобинового кровообращения (VIII этап) наступила массовая гибель зародышей. У выживших эмбрионов в растворах с концентрациями гербицида 1,5–2,0 мг/л наблюдалась задержка выклева на двое и более суток.

Минимальная гибель эмбрионов наблюдалась в растворах с концентрацией *Алиона*, КС 1,0 мг/л (6,67 %).

В растворах гербицида с концентрацией 0,5 мг/л развитие эмбрионов на всех этапах эмбриогенеза проходило синхронно с контролем, без видимых нарушений.

В растворах *Алиона*, КС с концентрациями 0,5 и 1,0 мг/л все этапы эмбриогенеза проходили синхронно с контролем, без видимых нарушений. Гибель эмбрионов не превышала естественную в контроле. Выклев проходил синхронно с контрольной группой.

Таким образом, по показателям продолжительности эмбриогенеза и выклева эмбрионов бычка-

кругляка в растворах *Алиона*, КС концентрация 1,0 мг/л — недействующая, пороговая — 1,5 мг/л, по показателю выживаемости недействующая концентрация 0,5 мг/л, пороговая — 1,0 (6,67 % гибели), по токсикометрическим параметрам пороговая — 1,19 мг/л.

Следующую серию опытов проводили на мальках бычка-кругляка, выклюнувшихся в лабораторных условиях.

В остром опыте были испытаны концентрации *Алиона*, КС в диапазоне 0,05–1,0 мг/л.

Расчетным методом определены пороговая концентрация *Алиона*, КС — 0,12 мг/л и среднелетальная — 0,39 мг/л для бычка-кругляка. По степени острой токсичности для рыб *Алион*, КС относится к группе особо токсичных пестицидов.

В хроническом эксперименте исследовалось влияние гербицида *Алион*, КС на мальков бычка-кругляка в диапазоне концентраций 0,05–1,0 мг/л (табл. 2).

Выявлено, что недействующей по выживаемости мальков была концентрация 0,05 мг/л. В растворах с концентрацией гербицида 0,1 мг/л погибло 20 % мальков. Гербицид в концентрации 0,5 мг/л обладал высокой токсичностью, вызывая гибель 75 % организмов. Летальной была концентрация 1,0 мг/л.

Рассчитаны пороговая концентрация *Алиона*, КС — 0,09 мг/л и среднелетальная — 0,32 мг/л.

На основании результатов острого и хронического экспериментов был рассчитан коэффициент функциональной кумуляции гербицида $J_{cum} = 1,21$, что соответствует слабой степени накопления токсического эффекта.

Наблюдения за поведенческими реакциями мальков показали, что в растворах с концентрацией 0,5 мг/л с первых суток эксперимента наблюдалось угнетение двигательной активности мальков: они залегали на дно экспериментальных сосудов, изредка всплывая к поверхности, реакция мальков на раздражение была слабой. С третьих суток эксперимента наблюдалось ослабление симптомов интоксикации, к концу эксперимента выжившие мальки стали более активны. Гербицид в концентрациях 0,05 и 0,1 мг/л не оказывал влияния на поведенческие реакции мальков.

Алион, КС в концентрациях 0,1 и 0,5 мг/л вызывал снижение темпа линейного роста мальков на 4 и 9,5 %, соответственно. В растворах с концентрацией гербицида 0,05 мг/л длина опытных мальков

соответствовала размерам контрольных экземпляров.

Недействующей концентрацией по показателю линейного роста бычков является величина 0,05 мг/л, пороговой — 0,1 мг/л.

Тератологический анализ. В ходе наблюдений за развивающимися эмбрионами бычка-кругляка в растворах *Алиона*, *КС* с концентрациями 0,5 и 1,0 мг/л тератогенный эффект не выявлен.

В растворах с концентрациями 1,5 и 2,0 мг/л у 5,9 и 37,5 % выключившихся эмбрионов имели место недоразвитие передних отделов или задних отделов тела, искривления туловища.

В эксперименте на мальках бычка-кругляка в растворе с концентрацией гербицида 0,05 мг/л патоморфологические признаки у мальков не наблюдались.

Аномалии развития у мальков бычка-кругляка (недоразвитие хвостового плавника) отмечались в растворах начиная с концентрации 0,1 мг/л и выше.

Таким образом, гербицид *Алион*, *КС* не обладал тератогенным эффектом в концентрации 0,5–1,0 мг/л для эмбрионов и 0,05 мг/л для мальков бычка-кругляка.

Пороговая концентрация для эмбрионов 1,5 мг/л, для мальков бычка-кругляка пороговая концентрация 0,1 мг/л (табл. 3).

Мутагенный анализ. Установлено, что частота хромосомных аберраций у мальков бычка-кругляка во всех испытуемых концентрациях *Чеккер Гранд*, *ВДГ* и *Алион*, *КС* находилась на уровне спонтанных. Индуцированных мутаций у мальков в опытных растворах не обнаружено [14, 15].

ВЫВОДЫ

1. Исследования показали, что гербицид *Чеккер Гранд*, *ВДГ*, имея в составе дифлюфеникан (класс феноксиникотинанилидов) и мефенпирдиэтил (класс пиразолов), относящихся к высокотоксичным химическим классам, проявлял

Таблица 3. Пороговые и недействующие концентрации гербицидов *Чеккер Гранд*, *ВДГ* и *Алиона*, *КС* для эмбрионов и мальков бычка кругляка, мг/л

Table 3. Threshold and no observed effect concentrations of herbicides *Checker Grand*, *WDG* and *Alion*, *SC* for round goby embryos and fry, mg/l

Показатели Parameters	Диапазон исследованных концентраций Range of investigated concentrations	Недействующая концентрация No observed effect concentration	Пороговая концентрация Threshold concentration
Чеккер Гранд, ВДГ (7 суток) / Checker Grand, WDG (7 days)			
Выживаемость эмбрионов Survival rate of embryos	2,5–25,0	2,5	5,0
Продолжительность эмбриогенеза Duration of embryogenesis		5,0	10,0
Выживаемость мальков бычка Survival rate of goby fry	1,0–25,0	1,0	2,5
Темп роста мальков Growth rate of fry		1,0	2,5
Алион, КС (7 суток) / Alion, SC (7 days)			
Выживаемость эмбрионов Survival rate of embryos	0,5–2,5	0,5	1,0
Продолжительность эмбриогенеза Duration of embryogenesis		1,0	1,5
Тератогенез эмбрионов Teratogenesis of embryos		1,0	1,5
Выживаемость мальков бычка Survival rate of goby fry	0,05–1,0	0,05	0,1
Темп роста мальков Growth rate of fry		0,05	0,1
Тератогенез мальков Teratogenesis of fry	0,05–0,5	0,05	0,1

для бычка-кругляка в период раннего онтогенеза среднюю токсичность, за счет присутствия в составе смеси пестицида малотоксичных сульфонилмочевин ($LK_{50} = 8,19$).

В растворах с максимальными концентрациями *Чеккер Гранд*, *ВДГ* (выше 25 мг/л) практически у всех эмбрионов отмечена специфическая патология, характерная при воздействии мочевины: кровоизлияние в области сердца и повреждение оболочек с летальным исходом. В опыте с гербицидом *Чеккер Гранд*, *ВДГ* (2,5–10,0 мг/л) тератогенного эффекта не выявлено. Экспериментально установленная пороговая концентрация для *Чеккер Гранд*, *ВДГ* по показателям выживаемости и линейного роста — 2,5 мг/л.

2. Гербицид *Алион*, *КС* (д.в. индазифлам, класс триазинов по классификации ВОЗ III — малотоксичное соединение). На основании проведенных экспериментальных исследований можно утверждать, что данный гербицид на гидробионтах проявил себя как особо токсичный пестицид ($LK_{50} = 0,39$ мг/л). Повышение класса опасности *Алион*, *КС* в водной среде связано с высокой растворимостью и гидролитической стабильностью д. в. индазифлам в нейтральных, щелочных и кислых средах. *Алион*, *КС* проявляет свою токсичность в диапазоне концентраций 0,1–1,0 мг/л, вызывает задержку развития эмбрионов, тормозит процессы линейного роста мальков бычка-кругляка, обладает тератогенным эффектом как на этапе эмбрионов (1,5 мг/л), так и на стадии малька (0,1 мг/л). Экспериментально установленная пороговая концентрация для *Алион*, *КС* — 0,1 мг/л.
3. Полученные данные экспериментальных исследований свидетельствуют, что токсичность гербицидов *Чеккер Гранд*, *ВДГ* и *Алион*, *КС* в водной среде зависит от наличия антидота, количественного соотношения в смеси действующих веществ различных классов опасности, их растворимости и гидролитической стабильности в нейтральных, щелочных и кислых средах.
4. Данные пестициды при одинаковой норме применения рабочей жидкости на гектар (200–300 л/га — эффективная доза для обоих препаратов) проявляют различную активность:

гербицидная активность *Алиона*, *КС* выше, чем *Чеккер Гранда*, *ВДГ* [7]. Вместе с тем результаты экспериментальных исследований по изучению токсического воздействия на рыб в период раннего онтогенеза показали, что икhtiоцидная опасность *Алиона*, *КС* также выше гербицида *Чеккер Гранд*, *ВДГ*.

Исходя из вышеизложенного, гербицид *Чеккер Гранд*, *ВДГ* является более перспективным пестицидом, чем *Алион*, *КС*, как менее токсичный для гидробионтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильков Г.В., Грищенко Л.Н., Енгашев В.Г. Гербициды // Болезни рыб. Справочник / Под ред. В.С. Осетрова. М.: Агропромиздат, 1989. 189 с.
2. Сидоров В.С. Экологическая биохимия рыб. Липиды. Л.: Наука, 1983. 240 с.
3. Лепилина И.Н. Нарушения в раннем онтогенезе осетровых: тезисы докл. V Всесоюзной конференции по раннему онтогенезу рыб (г. Астрахань, 1–3 октября, 1991 г.). М., 1991. С. 161–162.
4. Приложение № 1 к Порядку государственной регистрации пестицидов и агрохимикатов, утвержденному приказом Минсельхоза России от 10 июля 2007 г. № 357. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902053948> (дата обращения 12.03.2019).
5. Левина И.Л., Москвичев Д.В., Зинчук О.А. Экологические аспекты токсичности азоловых пестицидов для гидробионтов. Ростов-н/Д.: Медиа-Полис, 2007. С. 63.
6. Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. М.: Изд-во ВНИРО, 2011. 201 с.
7. Методические указания по разработке предельно допустимых концентраций (ПДК) пестицидов в воде рыбохозяйственных водоемов. Ростов-н/Д., 1979. 24 с.
8. Методические рекомендации по установлению эколого-рыбохозяйственных нормативов (ПДК и ОБУВ) загрязняющих веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: Изд-во ВНИРО, 1998. 148 с.
9. Гинзбург А.С., Детлаф Т.А. Развитие осетровых рыб. Созревание яиц, оплодотворение и эмбриогенез. М.: Наука, 1969. 130 с.
10. Детлаф Т.А., Гинзбург А.С., Шмальгаузен О.И. Развитие осетровых рыб. М.: Наука, 1981. 223 с.

11. Ашмарин И.П., Воробьев А.А. Статистические методы в микробиологических исследованиях. М.: Мед. литература, 1979. 257 с.
12. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1979. 342 с.
13. Прозоровский В.Б. Использование метода наименьших квадратов для пробит-анализа кривых летальности // Фармакология и токсикология. 1962. № 1. С. 68–69.
14. Мутагенные вещества в рыбохозяйственных водоемах. Методическое руководство по оценке генотоксичности и цитотоксичности при разработке рыбохозяйственных нормативов (ПДК). М., 1991. 71 с.
15. Макаров Б.В., Сафронов В.В. Цитогенетические методы анализа хромосом. М.: Наука, 1981. 223 с.

REFERENCES

1. Vasil'kov G.V., Grishchenko L.N., Engashev V.G. Gerbitsidy [Herbicides]. In: *Bolezni ryb. Spravochnik [Handbook of fish disease]*. V.S. Osetrov. (Ed.). Moscow: Agropromizdat [Agricultural Industry Publishing House], 1989, 189 p. (In Russian).
2. Sidorov V.S. Ekologicheskaya biokhimiya ryb. Lipidy [Ecological biochemistry of fish. Lipids]. Leningrad: Nauka [Science], 1983, 240 p. (In Russian).
3. Lepilina I.N. Narusheniya v rannem ontogeneze osetrovyykh [Abnormalities in the early ontogeny of sturgeons]. In: *Tezisy dokladov V Vsesoyuznoy konferentsii po rannemu ontogenezu ryb (g. Astrakhan', 1–3 oktyabrya, 1991 g.) [Proceedings of the 5th All-Soviet Conference on early ontogeny of sturgeons (Astrakhan, 1–3 October, 1991)]*. Moscow, 1991, pp. 161–162. (In Russian).
4. Prilozhenie № 1 k Poryadku gosudarstvennoy registratsii pestitsidov i agrokhimikatov, utverzhdenomu prikazom Minsel'khoza Rossii ot 10 iyulya 2007 g. [Appendix No. 1 to Regulation concerning the state registration of pesticides and agrochemicals, adopted by the Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of 10 June, 2007]. No. 357. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902053948> (accessed 12.03.2019). (In Russian).
5. Levina I.L., Moskvichev D.V., Zinchuk O.A. Ekologicheskie aspekty toksichnosti azolovykh pestitsidov dlya gidrobiontov [Ecological aspects ofazole pesticides' toxicity to hydrobionts]. Rostov-on-Don: Media-Polis, 2007, pp. 63. (In Russian).
6. Metodicheskie ukazaniya po razrabotke normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya [Methodological guidelines on the development of regulations and standards on water quality of water bodies of fisheries importance, including standards for maximum allowable concentrations of hazardous substances in the waters of water bodies of fisheries importance]. Moscow: VNIRO Publ., 2011, 201 p. (In Russian).
7. Metodicheskie ukazaniya po razrabotke predel'no dopustimyykh kontsentratsiy (PDK) pestitsidov v vode rybokhozyaystvennykh vodoemov [Methodological guidelines on the development of standards for maximum allowable concentrations (MACs) of pesticides in the water of water bodies of fisheries importance]. Rostov-on-Don, 1979, 24 p. (In Russian).
8. Metodicheskie rekomendatsii po ustanovleniyu ekologorybokhozyaystvennykh normativov (PDK i OBUV) zagryaznyayushchikh veshchestv dlya vody vodnykh ob'ektov, imeyushchikh rybokhozyaystvennoe znachenie [Methodological guidelines on setting environmental and fisheries standards (MAC and SRLI) for pollutants in the water of water bodies of fisheries importance]. Moscow: VNIRO Publ., 1998, 148 p. (In Russian).
9. Ginsburg A.S., Dettlaff T.A. Razvitie osetrovyykh ryb. Sozrevanie yaits, oplodotvorenie i embriogenez [Development of sturgeons. Oocyte maturation, fertilization and embryogenesis]. Moscow: Nauka [Science], 1969, 130 p. (In Russian).
10. Detlaf T.A., Ginzburg A.S., Shmal'gauzen O.I. Razvitie osetrovyykh ryb [Development of Acipenseridae]. Moscow: Nauka [Science], 1981, 223 p. (In Russian).
11. Ashmarin I.P., Vorob'ev A.A. Statisticheskie metody v mikrobiologicheskikh issledovaniyakh [Statistical methods in microbiological studies]. Moscow: Meditsinskaya literatura [Medical Literature], 1979, 257 p. (In Russian).
12. Lakin G.F. Biometriya [Biometry]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher School], 1979, 342 p. (In Russian).
13. Prozorovskiy V.B. Ispol'zovanie metoda naimen'shikh kvadratov dlya probit-analiza krivykh letal'nosti [Using the method of least squares for probit-analysis of mortality curves]. *Farmakologiya i toksikologiya [Pharmacology and Toxicology]*, 1962, no. 1, pp. 68–69. (In Russian).
14. Mutagennyye veshchestva v rybokhozyaystvennykh vodoemakh. Metodicheskoe rukovodstvo po otsenke genotoksichnosti i tsitotoksichnosti pri razrabotke rybokhozyaystvennykh normativov (PDK) [Mutagenic substances in the water bodies of fisheries importance. Methodological guideline on assessment of genotoxicity and cytotoxicity during development of fisheries regulations and standards (MAC)]. Moscow, 1991, 71 p. (In Russian).
15. Makarov B.V., Safronov V.V. Tsitogeneticheskie metody analiza khromosom [Cytogenetic methods of chromosome analysis]. Moscow: Nauka [Science], 1981, 223 p. (In Russian).

Поступила 21.03.2019

Принята к печати 24.04.2019