

ИЗМЕНЕНИЕ ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У *DAPHNIA MAGNA* ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАСТВОРОВ НЕКОТОРЫХ БЕНЗОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А. В. Горбунов, Д. Л. Никифоров-Никишин, О. В. Горбунов

Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского
(Первый казачий университет),
Москва, Российская Федерация

Исследованы биологические показатели развития *Daphnia magna* на критических стадиях онтогенеза под воздействием водных растворов экотоксикантов: нитробензола и трихлорбензола. Показано, что периоды размножения и развития у *Daphnia magna* являются решающими среди прочих показателей: физиологических, биохимических. Фактически весь период эмбриогенеза у дафний является достаточно уязвимым по сравнению с дальнейшими этапами развития. У дафний при действии растворов выбранных для исследования экотоксикантов в первую очередь снижается плодовитость и происходит задержка оогенеза. Следующим по чувствительности этапом будет количество сброшенных карапаков. Наименее чувствительный параметр – выживаемость взрослых особей. Усиление отдаленного токсического эффекта в трех поколениях дафний не было выявлено в процессе исследования. Тест-объект *Daphnia magna* во всех проведенных опытах показал высокую чувствительность к нитробензолу и трихлорбензолу как к загрязнителям водной среды. За основные онтогенетические параметры в оценке качества вод предпочтительно брать плодовитость *Daphnia magna* и нарушение процессов развития на предзародышевых стадиях. По параметру «выживаемость» выявлена максимально допустимая концентрация исследуемых бензольных соединений – 0,01 мг/л, которая была установлена по наиболее чувствительным показателям и критическим стадиям онтогенеза.

Ключевые слова: гидробионты, токсикант, тест-объект, дафния, нитробензол, трихлорбензол, допустимая концентрация.

Для цитирования: Горбунов А. В., Никифоров-Никишин Д. Л., Горбунов О. В. Изменение онтогенетических показателей у *Daphnia magna* под воздействием растворов некоторых бензольных соединений // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2021. № 2. С. 125–133. DOI: 10.24143/2073-5529-2021-2-125-133.

Введение

Изучение индивидуального развития гидробионтов в настоящее время заключается в исследовании процессов межклеточного взаимодействия, от которого и зависит как поведение, так и положение клеток в теле развивающейся особи гидробионта. Множество научных работ, появившихся в последние годы, подчеркивает важность взаимодействия целого ряда развивающихся систем в организме, однако механика развития организма как единого целого еще недостаточно исследована и не раскрыта с достаточной полнотой. Вплоть до настоящего времени большая часть научных исследований была сосредоточена на изучении биохимических процессов развития, но не уделяла достаточного внимания особенностям развития организма как целостной биологической системы [1].

Значительные усилия были затрачены учеными на изучение и выявление биохимии развития, например синтеза нуклеиновых кислот и белков, при этом причинно-следственному анализу сил, управляющих взаиморасположением клеток, уделялось неоправданно мало внимания [2]. Однако в развитии любого организма взаимодействие клеток, тканей и органов является одним из важнейших факторов: обусловленные воздействием вредных веществ, нарушения развития пагубно влияют не только на отдельные клетки, как это характерно при мутагенезе, но и на популяцию клеток.

Согласованное развитие систем как у отдельных особей гидробионтов, так и в рамках биоценоза представляет собой сложнейшую цепь биологических, биохимических, физико-химических реакций, комплексное исследование и осмысление которых на сегодняшний день невозможно даже при наличии и применении передовых методов математического и компьютерного моделирования [3].

Ключевым признаком, указывающим на возможное нарушение взаимосвязей в отдельно взятом организме, могут стать морфологические изменения в органах и тканях исследуемого организма и, в перспективе, снижение темпа размножения особей в последующих поколениях. Наиболее важным в водной токсикологии оказывается изучение эмбриональных стадий онтогенеза гидробионтов, в особенности периодов морфогенетических сдвигов и изменения формирующих регуляций. Например, у рыб отмечены характерные сдвиги с повышением чувствительности особей к токсичным соединениям на этапах гастрюляции, выклева и начала работы сердца [4].

Целью настоящего исследования было проведение оценки токсичности растворов нитробензола и трихлорбензола с установлением максимально допустимых концентраций (МДК) для экотоксикантов, попадающих в рыбохозяйственные водоемы со стоками.

Материал и методы исследований

В качестве тест-объекта были взяты планктонные ракообразные *Daphnia magna*. Был поставлен ряд кратковременных опытов токсикологического характера, длительность которых составляла 48 и 96 ч. Также были проведены хронические опыты [5].

Культивация *Daphnia magna* проводилась по стандартным методикам [6]. Для контроля использовалась отстоянная вода объемом 200 мл, для эксперимента – вода с добавлением токсичных веществ в разной концентрации [7, 8]. В опыте была использована синхронизированная культура 1-2-дневных *Daphnia magna*, что позволяет исключить естественную убыль тест-объектов, т. к. длительность опыта составляла 30 сут, а продолжительность жизни *Daphnia magna* – 45 сут.

Культивирование происходило при оптимальных температурах в диапазоне 19–21 °С, при этом особое внимание было уделено процессу стандартизации процедуры кормления и световых условий. В качестве осветительных приборов использовались приборы дневного света с реле со световым режимом 1 : 1. Опыты проводились в 3-кратной повторности.

Кормление тестируемых дафний осуществлялось пекарскими дрожжами и хлореллой. В рецептуру корма входили подсушенные дрожжи, смешанные с водой из расчета 1 % дрожжей на стакан воды (тест-стакан объемом 200 мл). Эта суспензия по 3–5 капель вносилась в культуру с *Daphnia magna*. Хлореллу, из расчета 2 мл/л, вносили из культуры с плотностью 25–35 тыс. кл./мл.

Культивирование хлореллы осуществлялось с использованием щелочной питательной среды Тамия (с содержанием мочевины, воды, фосфорнокислого калия, сернокислого магния, микроэлементов и т. д), после чего клетки отделяли от культуральной среды с помощью центрифугирования. Полученный осадок разводили некоторым количеством воды и хранили в охлажденном состоянии.

Кормление хлореллой осуществлялся ежедневно, а пекарские дрожжи вносились в стаканы с тестовыми *Daphnia magna* 2 раза в неделю. Данные условия культивирования, при их соблюдении, гарантировали размножение *Daphnia magna* только партеногенезом.

В рыбохозяйственные водоемы чаще всего попадают вещества различных классов опасности [6, 7], по этой причине для исследований были применены тестовые загрязняющие вещества различных классов опасности – нитробензол и трихлорбензол, – использование которых регламентируется и регулируется государством [9, 10].

Нитробензол. Органическое вещество, токсичное, с резким миндальным запахом, 4-го класса опасности. Оказывает вредное воздействие на кровяные клетки и приводит к образованию метгемоглобина, вызывает эффект помутнения сознания, причем эффекты воздействия могут быть отсроченными. При длительном воздействии нитробензола возможно воздействие на кровеносные органы организма, а также на печень [11]. В рамках исследования на *Daphnia magna* были взяты концентрации в остром опыте: 0,2; 0,1 и 0,01 мг/л. Поскольку концентрация 0,1 мг/л при сроке опыта в 96 ч дает предварительные результаты, близкие к LC_{50} , спектр концентраций хронического эксперимента взят соответственно: 0,02; 0,01; 0,001; 0,0001 мг/л.

Трихлорбензол. Компонент различных диэлектрических жидкостей. Вещество 3-го класса опасности. Вещество применяется в лакокрасочной промышленности и для получения взрывчатых веществ, для производства красителей, гербицидов, теплоносителей, трансформаторных масел. Вызывает наркотическое состояние, довольно сильно угнетает дыхание, обладает резко выраженным действием раздражающего характера на слизистые оболочки зрительной системы и дыхательных путей [11].

В остром опыте, при концентрации трихлорбензола 0,1 мг/л, гибель дафний составила около 30 % от контроля. Исходя из этого наибольшая концентрация трихлорбензола для хронического опыта была выбрана равной 0,03 мг/л. Спектр концентраций для хронических опытов найден в опытах с установлением ЛК₅₀, принят: 0,03; 0,01; 0,001; 0,0001 мг/л.

Для исходного поколения и для последующих 3-х поколений *Daphnia magna* определялись биологические показатели. В связи с зафиксированным сдвигом между поколениями в 7 дней, для каждого поколения контроль ставился индивидуально. Достоверность разности средних определялась по критерию Стьюдента $p \geq 0,95$.

Результаты исследований

Тестируемые бензолные соединения при их попадании в среду вызывали деструктивные нарушения биологических показателей *Daphnia magna*, связанные с размножением.

Нитробензол. Нитробензол, как показали тесты, при концентрации, превышающей 0,1 мг/л, начинает отрицательно влиять на биообъекты (*Daphnia magna*) уже с первых же суток после постановки опыта. На 4-е сутки эксперимента зафиксирована гибель 40 % дафний. Отличительной особенностью действия нитробензола оказалось его влияние на поведенческие реакции дафний: за несколько часов до гибели была отмечена потеря дафниями ориентации в пространстве, характерные переворачивания через голову и опускание на дно тестовой емкости, при этом тело дафний приобретает мутный оттенок. При концентрации 0,1 мг/л не отмечено изменений по сравнению с контролем – таким образом, ее можно считать максимально допустимой.

При изучении отсроченного воздействия нитробензола на тест-объекты были исследованы онтогенетические показатели в 3-х поколениях. Динамика развития дафний на протяжении 3-х поколений является объективным показателем, необходимым для выявления токсического воздействия нитробензола на генетическую экспрессию и генетический аппарат *Daphnia magna* в целом. Необходимо обратить внимание на то, что возрастная разница между поколениями составила от 7 до 8 дней, что указывает на отсутствие у нитробензола токсических свойств, способных затормозить овогенез и скорость созревания *Daphnia magna*.

В хроническом опыте с максимальной концентрацией в 0,1 мг/л погибло более 60 % от общего количества тест-объектов, кроме того, необходимо отметить и повышенную гибель их эмбрионов. Данные о действии нитробензола на онтогенетические показатели у дафний представлены в табл. 1.

Таблица 1

Онтогенетические показатели *Daphnia magna* под влиянием растворов нитробензола в хроническом эксперименте

Концентрация токсиканта, мг/л	Биологические показатели				
	Выживаемость особей (за 30 сут), %	Половозрелость особей, сут	Первый помет, шт.	Количество сброшенных карапаксов (на 10 дафний), шт.	Плодовитость дафний (в пересчете на 1 самку), шт.
Исходные особи <i>Daphnia magna</i>					
Контроль	94 ± 4,5	Половозрелые особи	10	87 ± 6,8	21,3 ± 4,1
0,0001	81 ± 15,1			91 ± 8,2	18,7 ± 2,1
0,001	92 ± 7,8			87 ± 12,3	22,5 ± 3,3
0,01	74 ± 11,4*			63 ± 12,2*	11,4 ± 1,8*
0,02	66 ± 15,3*			65 ± 7,2*	12,8 ± 2,3*
I поколение					
Контроль	86 ± 8,2	8	10	94 ± 10,2	23,3 ± 1,8
0,0001	88 ± 11,3	8	9	91,2 ± 8,3	21,5 ± 1,6
0,001	92 ± 7,6	8	10	94 ± 11,2	23,5 ± 2,2
0,01	86 ± 12,1	8	9	90 ± 3,2	22,4 ± 2,4
0,02	75 ± 7,2*	8	9	74 ± 7,5*	21,3 ± 2,3
II поколение					
Контроль	95 ± 3,5	8	10	94 ± 6,2	21,2 ± 2,2
0,0001	100	8	10	87 ± 5,7	22,7 ± 1,7
0,001	85 ± 4,3	8	9	91 ± 5,8	19,5 ± 1,3
0,01	77 ± 11,2	8	9	85 ± 8,7	20,3 ± 1,4
0,02	63 ± 7,8*	8	9	75 ± 5,5*	17,5 ± 2,1*
III поколение					
Контроль	100	8	9	100 ± 10,2	17,4 ± 2,3
0,0001	85 ± 10,2	8	10	99 ± 8,3	21,2 ± 1,4
0,001	99	7	10	98 ± 6,1	19,7 ± 2,5
0,01	88 ± 7,5	7	9	87 ± 8,8	16,5 ± 1,6*
0,02	77 ± 11,4*	8	9	86 ± 7,7*	11,3 ± 1,8*

* Достоверная разница средних ($p \geq 0,95$; $t_{st} = 2,75$; $t_d = 2,45$).

Из анализа полученных в ходе эксперимента данных следует, что нитробензол максимально воздействует на исходное поколение *Daphnia magna*. Можно предположить, что у последующих поколений дафний вырабатывается некоторая адаптация к данному токсиканту, т. к. в последующих 3-х поколениях не зафиксировано статистически достоверной разницы между контрольной и опытной группами; в ходе эксперимента не отмечено отсроченного токсического воздействия нитробензола при концентрации 0,01 мг/л. Данная информация свидетельствует об адаптации *Daphnia magna* к токсическому воздействию нитробензола в процессе их развития, а концентрацию 0,01 мг/л допустимо принять за максимально допустимую.

Трихлорбензол. Как следует из тестов, концентрации трихлорбензола 0,01 и 0,03 мг/л оказывают влияние на количество линек у *Daphnia magna*, что свидетельствует об интенсивном белковом обмене. Логично предположить, что это нарушение является онтогенетическим показателем, связанным с ростом особей. При температурах от 18–20 °С дафнии линяют 4–5 раз до периода созревания. Вместе с этим показатель линьки дафний является менее чувствительным по сравнению с прочими, например, с размножением дафний.

Аналогичное явление можно отметить и в первом поколении дафний; в следующих поколениях схожее действие трихлорбензола не наблюдалось. Необходимо отметить, что при концентрации трихлорбензола в 0,01 мг/л на одну особь приходилось только 0,2 эфиппия, таким образом, данную концентрацию и следует считать допустимой. Сведения о действии растворов трихлорбензола на онтогенетические показатели *Daphnia magna* представлены в табл. 2.

Таблица 2

Онтогенетические показатели *Daphnia magna* под влиянием растворов трихлорбензола в хроническом эксперименте

Концентрация токсиканта, мг/л	Биологические показатели				
	Выживаемость особей (за 30 сут), %	Половозрелость особей, сут	Первый помет, шт.	Количество сброшенных карапаксов (на 10 дафний), шт.	Плодовитость дафний (в пересчете на 1 самку), шт.
Исходные особи <i>Daphnia magna</i>					
Контроль	98 ± 3,2	Половозрелые особи		88 ± 7,2	22,4 ± 1,8
0,0001	85 ± 12,3			91 ± 9,5	21,7 ± 2,2
0,001	93 ± 8,2			86 ± 7,4	21,1 ± 1,6
0,01	75 ± 14,5*			58 ± 5,7*	12,4 ± 2,7*
0,03	68 ± 8,6			51 ± 8,5	13,5 ± 2,2
I поколение					
Контроль	94 ± 4,6	8	10	100 ± 5,5	21,5 ± 2,7
0,0001	91 ± 8,5	7	9	99 ± 8,7	22,9 ± 2,3
0,001	93 ± 5,7	7	10	97 ± 4,5	21,1 ± 1,8
0,01	87 ± 12,3	8	9	95 ± 7,3	21,4 ± 1,8
0,03	86 ± 11,2	8	8	99 ± 10,5	21,0 ± 3,3
II поколение					
Контроль	97 ± 2,4	7	8	82 ± 7,8	19,3 ± 2,0
0,0001	88 ± 10,2	7	10	84 ± 10,2	21,0 ± 1,6
0,001	93 ± 6,5	8	8	87 ± 9,5	21,5 ± 2,3
0,01	94 ± 4,7	7	8	82 ± 8,2	20,4 ± 2,1
0,03	92 ± 6,3	6	9	86 ± 7,3	21,2 ± 1,7
III поколение					
Контроль	100	9	10	100 ± 7,7	21,5 ± 2,2
0,0001	97 ± 5,5	8	11	99 ± 6,4	19,3 ± 1,5
0,001	99	8	9	97 ± 5,3	20,6 ± 1,4
0,01	90 ± 9,5	9	10	95 ± 5,8	19,8 ± 2,2
0,03	88 ± 8,2	8	10	96 ± 6,3	20,7 ± 1,2

* Достоверная разница средних ($p \geq 0,95$; $t_{st} = 2,75$; $t_d = 2,63$).

В качестве характерной черты действия на дафний у испытуемых токсикантов выступает токсичность в острых опытах, которая является наименьшей. Так, при концентрации 0,1 мг/л трихлорбензола гибель *Daphnia magna* составила 30 % тестовых особей за 98 ч, в то время как в среде с нитробензолом в качестве токсиканта гибель *Daphnia magna* была равной 40 % особей от тестового количества. В хроническом опыте при концентрациях трихлорбензола 0,01 мг/л гибнет от 20 до 30 % тестовых экземпляров, при концентрациях 0,001 и 0,0001 мг/л процент гибели практически не отличается от контроля.

Аналогично ситуации с нитробензолом следующие 3 поколения дафний оказываются устойчивыми к токсическому воздействию трихлорбензола. Наибольшее воздействие трихлорбензол оказывает не первое поколение тест-организмов; для 2-х следующих поколений *Daphnia magna* отклонения статистически минимальны (табл. 2). В связи с этим за максимально допустимую концентрацию трихлорбензола может быть принята концентрация 0,01 мг/л.

Обсуждение результатов

Нитробензол и трихлорбензол по своему действию на живые организмы являются ярко выраженными токсикантами, воздействуя на такие системы позвоночных животных, как кровеносная и нервная системы. Под воздействием нитробензола и трихлорбензола кровь тест-объектов может подвергаться гемолизу [12].

Исследования, проведенные лабораторным способом на млекопитающих, позволили установить лимитирующие показатели токсичности: для нитробензола ПДК 0,02 мг/л, а для трихлорбензола ПДК в питьевой воде – 0,03 мг/л. Отмечается при этом, что низшие позвоночные наименее устойчивы к воздействию хлорсодержащих соединений по сравнению с млекопитающими и птицами.

Необходимо отметить повышенную чувствительность эмбриональных стадий развития организмов к токсикантам, а следовательно, и к загрязнению окружающей среды. Н. С. Строганов считал выживаемость объективным критерием острого отравления. Под действием малых доз токсикантов организм может быть жизнеспособен достаточно продолжительное время, но, скорее всего, у него будет нарушена репродуктивная функция либо будет происходить нарушение развития организма, с получением в дальнейшем неполноценного потомства [13]. Критерии развития и размножения гидробионтов весьма деликатные, поэтому на современном уровне развития техники и технологий их невозможно прогнозировать. Однако это позволяет сделать биологический анализ, и сегодня он положен в основу ряда прогрессивных токсикологических методик (установление МДК на каждом рыбохозяйственном объекте, предшествующее рыбохозяйственной ПДК) [4]. Наиболее важным инструментом в этой области, которая уже выделилась в самостоятельное направление, называемое экспериментальной тератологией, является возможность устанавливать отдаленный биологический эффект действия токсических веществ, попадающих в окружающую среду в малых концентрациях.

Именно чувствительность водных организмов на стадии развития предопределила их использование в водной токсикологии в качестве биологических тестов [2]. Существующие в настоящее время биологические исследования демонстрируют высокую исследовательскую эффективность изучения эмбриональных стадий развития гидробионтов в целях установления различных критериев токсичности при загрязнении водной среды, вместе с чем открываются и новые возможности для экспресс-исследований токсичности [14].

Особенностью развития дафний является сложная многофакторная система взаимосвязей, сопровождающих их жизненно важные функции на различных этапах жизни; по взаимосвязанным реакциям и морфологическим изменениям у данных организмов, например, целесообразно судить о степени токсичности исследуемого вещества. Однако для *Daphnia magna* еще только предстоит исследовать многие особенности развития и размножения. Плодовитость *Daphnia magna*, по различным данным, колеблется от 30 до 55 особей на одну самку, размеры личинки – около 0,5 мм, личинки созревают за 3–4 дня и дают иногда до 7 пометов каждые 1–2 дня, при этом изменение плодовитости зависит не только от условий среды и кормления, но и от сезонности [13].

У *Daphnia magna*, по имеющимся данным, есть 2 периода резкого понижения плодовитости: ноябрь–январь и июнь–июль. *Daphnia magna* хорошо себя чувствуют и размножаются при концентрации бактерий не менее 1 млн в 1 см³ воды. Однако при численности бактерий менее 500 тыс. на 1 см³ наступление половозрелости дафний несколько задерживается; если численность бактерий ниже 200 тыс. на 1 см³, жизнь *Daphnia magna* становится невозможной [15].

Важнейшая особенность *Daphnia magna* состоит в том, что они ракообразные с высоким темпом размножения: цикл их жизни короткий, но они могут существовать при достаточно высоких плотностях. Знание же нормального развития и особенностей размножения низших ракообразных при испытании токсической активности веществ и установлении ПДК принципиально необходимы, т. к. существует еще много малоизученных аспектов, в первую очередь у *Daphnia magna*. Загрязнение водоемов может привести к нарушению экологического равновесия за счет гибели (резкого уменьшения) популяций гидробионтов-фильтраторов, входящих в кормовую базу различных видов рыб, может наблюдаться подавление процессов самоочищения воды [15].

Выводы

Анализ развития низших ракообразных в загрязненной среде свидетельствует о том, что периоды размножения и развития у *Daphnia magna* являются решающими среди прочих показателей (физиологических, биохимических). Фактически весь период эмбриогенеза у дафний является достаточно уязвимым по сравнению с дальнейшими этапами развития.

У дафний при действии растворов выбранных для исследования экотоксикантов в первую очередь снижается плодовитость и происходит задержка оогенеза, затем, по чувствительности, отмечается количество сброшенных карапаксов, и наименее чувствительный параметр – выживаемость взрослых особей. Усиление отдаленного токсического эффекта в трех поколениях дафний выявлено не было. Выбранный тест-объект *Daphnia magna* во всех наших опытах (в том числе и в хронических) показал высокую чувствительность к данным загрязнителям водной среды.

За основные онтогенетические параметры в оценке качества вод предпочтительно брать такие показатели *Daphnia magna*, как плодовитость и нарушение процессов развития на предзародышевых стадиях. По параметру «выживаемость» нами выявлены максимально допустимые концентрации (МДК) исследуемых бензолных соединений – 0,01 мг/л.

Практическое применение результатов: использование МДК для разработки эколого-рыбохозяйственных нормативов (ПДК) для токсичных бензолных соединений, поступающих со сточными водами промышленных предприятий в окружающую среду и совершенствование методов определения допустимых концентраций токсикантов в водной среде за счет выявления их действия на наиболее чувствительные периоды онтогенеза тест-объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифоров-Никишин А. Л. Морфологические особенности хрусталика гидробионтов и их применение в водной токсикологии: дис. ... д-ра биол. наук. М.: Изд-во МГУТУ, 2005. 256 с.
2. Филенко О. Ф. Водная токсикология. М.: Изд-во МГУ, 1988. 154 с.
3. Антер М. Кибернетика и развитие. М.: Мир, 1970. 216 с.
4. Строганов Н. С., Путинцев А. И., Исакова Е. Ф., Шигин В. И. Метод токсикологического контроля сточных вод // Биол. науки. 1979. № 2. С. 90–96.
5. Методические рекомендации по биотестированию природных, сточных вод и отдельных загрязняющих веществ. М.: Изд-во ВНИРО, 1982. 33 с.
6. Об утверждении Методических указаний по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Федерального агентства по рыболовству от 04 августа 2009 г. № 695 (с изм. от 22 декабря 2016 г.). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902172637> (дата обращения: 12.09.2020).
7. РД 52.24.669-2005. Унифицированные методы биотестирования для обнаружения токсического загрязнения поверхностных вод суши с использованием микрозоопланктона. М.: ГУ ЦКБ ГМП, 2005. 28 с.
8. Авилова Г. А., Карпухина Е. А. Бензол. М.: Центр ГКНТ, 1985. 45 с.

9. *Об утверждении* нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Минсельхоза России от 13 декабря 2016 г. № 552 (с изм. от с 27 июня 2020 г.). URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 13.09.2020).

10. *Большая* энциклопедия нефти и газа. URL: <https://ngpedia.ru/id450175p1.html> (дата обращения: 13.09.2020).

11. *Кипер Р. А.* Свойства веществ: справ. Хабаровск: Изд-во Дальневосточ. гос. гуманит. ун-та, 2009. 387 с.

12. *Канцерогенные* вещества: справ. М.: Медицина, 1986. 332 с.

13. *Сотников Ф. И.* Критические периоды в раннем онтогенезе гидробионтов и их роль в биотестировании и эколого-рыбохозяйственном нормировании: дис. ... канд. биол. наук. М.: Изд-во МГУТУ, 2005. 148 с.

14. *Филенко О. Ф.* Опыт применения модельных водных экосистем для решения исследовательских задач // Биологические процессы загрязненных модельных водоемов. М.: Изд-во МГУ, 1984. С. 174–192.

15. *Артюхова В. И., Дмитриева А. Г. и др.* Мониторинг вод рек Подмосковья методами биотестирования // Водные ресурсы. 1991. № 1. С. 115–121.

Статья поступила в редакцию 22.10.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр Вячеславович Горбунов – канд. биол. наук; доцент кафедры биологии и ихтиологии; Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет); Россия, 109004, Москва; akvabiotex@rambler.ru.

Дмитрий Львович Никифоров-Никишин – канд. биол. наук; доцент кафедры экологии и природопользования; Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет); Россия, 109004, Москва; akvabiotex@rambler.ru.

Олег Вячеславович Горбунов – старший преподаватель кафедры экологии и природопользования; Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет); Россия, 109004, Москва; akvabiotex@rambler.ru.



CHANGES IN ONTOGENETIC PARAMETERS IN *DAPHNIA MAGNA* INFLUENCED BY SOLUTIONS OF BENZENE COMPOUNDS

A. V. Gorbunov, D. L. Nikiforov-Nikishin, O. V. Gorbunov

*K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management
(the First Cossack University),
Moscow, Russian Federation*

Abstract. The article presents the research results of biological parameters of *Daphnia magna* development at the critical stages of ontogenesis influenced by the aqueous solutions of ecotoxins: nitrobenzene and trichlorobenzene. The periods of reproduction and development in *Daphnia magna* are stated to be decisive, among other parameters (physiological, biochemical). In fact, the entire period of embryogenesis in *Daphnia* is quite vulnerable, compared to the further stages of development. Under the action of solutions of ecotoxins taken for the research *Daphnias* have

a decreased fertility and a delayed oogenesis. The next stage of sensitivity is the number of cast carapaces. The least sensitive parameter is the survival rate of adults. Increasing the remote toxic effect in three generations of *Daphnias* was not detected in the course of research. The *Daphnia magna* test object showed high sensitivity to nitrobenzene and trichlorobenzene acting as water environment pollutants in all the experiments. For the main ontogenetic parameters in the assessment of water quality it is preferable to take fecundity and violation of development processes at the prenatal stages of *Daphnia magna*. According to the survival parameter, the maximum permissible concentration of the studied benzene compounds was 0.01 mg/l, which was determined by the most sensitive parameters and critical stages of ontogenesis.

Key words: hydrobionts, toxicant, test object, *Daphnia*, nitrobenzene, trichlorobenzene, acceptable concentration.

For citation: Gorbunov A. V., Nikiforov-Nikishin D. L., Gorbunov O. V. Changes in ontogenetic parameters in *Daphnia magna* influenced by solutions of benzene compounds. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2021;2:125-133. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2021-2-125-133.

REFERENCES

1. Nikiforov-Nikishin A. L. *Morfologicheskie osobennosti khrustalika gidrobiontov i ikh primeneniye v vodnoi toksikologii. Dissertatsiya ... d-ra biol. nauk* [Morphological features of lens of aquatic organisms and their use in aquatic toxicology. Diss. ... Dr.Biol.Sci.]. Moscow, Izd-vo MGUTU, 2005. 256 p.
2. Filenko O. F. *Vodnaya toksikologiya* [Water toxicology]. Moscow, Izd-vo MGU, 1988. 154 p.
3. Apter M. *Kibernetika i razvitiye* [Cybernetics and Development]. Moscow, Mir Publ., 1970. 216 p.
4. Stroganov N. S., Putintsev A. I., Isakova E. F., Shigin V. I. Metod toksikologicheskogo kontrolya stochnykh vod [Method of toxicological control of waste water]. *Biologicheskie nauki*, 1979, no. 2, pp. 90-96.
5. *Metodicheskie rekomendatsii po biotestirovaniyu prirodnykh, stochnykh vod i otdel'nykh zagriaznialushchikh veshchestv* [Methodical recommendations for biotesting of natural, waste waters and certain pollutants]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 1982. 33 p.
6. *Ob utverzhdenii Metodicheskikh ukazanii po razrabotke normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhoziaistvennogo znachenii, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsii vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhoziaistvennogo znachenii. Prikaz Federal'nogo agentstva po rybolovstvu ot 04 avgusta 2009 g. № 695 (s izm. ot 22 dekabrya 2016 g.)* [On approval of Methodological Guidelines for development of water quality standards for fishery water bodies, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in water areas used for fishing. Order of the Federal Agency for Fisheries dated August 04, 2009 No. 695 (as amended on December 22, 2016)]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902172637> (accessed: 12.09.2020).
7. RD 52.24.669-2005. *Unifitsirovannyye metody biotestirovaniya dlia obnaruzheniya toksicheskogo zagriazneniya poverkhnostnykh vod sushiy s ispol'zovaniem mikrozooplanktona* [RD 52.24.669-2005. Unified biotesting methods for detecting toxic pollution of surface waters using microzooplankton]. Moscow, GU TsKB GMP, 2005. 28 p.
8. Avilova G. A., Karpukhina E. A. *Benzol* [Benzene]. Moscow, Tsentr GKNT Publ., 1985. 45 p.
9. *Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhoziaistvennogo znachenii, v tom chisle normativov PDK vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhoziaistvennogo znachenii. Prikaz Minsel'khoza Rossii ot 13 dekabrya 2016 g. № 552 (s izm. ot 27 iyunia 2020 g.)* [On approval of water quality standards for fishery water bodies, including MPC standards for harmful substances in water areas used for fishing. Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated December 13, 2016 No. 552 (as amended from June 27, 2020)]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (accessed: 13.09.2020).
10. *Bol'shaya entsiklopediya nefi i gaza* [Big encyclopedia of oil and gas]. Available at: <https://ngpedia.ru/id450175p1.html> (accessed: 13.09.2020).
11. Kiper R. A. *Svoystva veshchestv: spravochnik* [Properties of substances: reference book]. Khabarovsk, Izd-vo Dal'nevostoch. gos. gumanit. un-ta, 2009. 387 p.
12. *Kantserogennyye veshchestva: spravochnik* [Carcinogenic substances: reference book]. Moscow, Meditsina Publ., 1986. 332 p.
13. Sotnikov F. I. *Kriticheskiye periody v rannem ontogeneze gidrobiontov i ikh rol' v biotestirovaniy i ekologo-rybokhoziaistvennom normirovaniy. Dissertatsiya ... kand. biol. nauk* [Critical periods in early ontogenesis of aquatic organisms and their role in biotesting and ecological-fisheries regulation. Diss. ... Dt.Biol. Sci.]. Moscow, Izd-vo MGUTU, 2005. 148 p.
14. Filenko O. F. Opyt primeneniya model'nykh vodnykh ekosistem dlia resheniya issledovatel'skikh zadach [Experience of using model water ecosystems for solving research problems]. *Biologicheskiye protsessy zagriaznennykh model'nykh vodoemov*. Moscow, Izd-vo MGU, 1984. Pp. 174-192.

15. Artiukhova V. I., Dmitrieva A. G. i dr. Monitoring vod rek Podmoskov'ia metodami biotestirovaniia [Monitoring waters of rivers in the Moscow region by biotesting methods]. *Vodnye resursy*, 1991, no. 1, pp. 115-121.

The article submitted to the editors 22.10.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander V. Gorbunov – Candidate of Biology; Assistant Professor of the Department of Biology and Ichthyology; K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University); Russia, 109004, Moscow; akvabiotex@rambler.ru.

Dmitry L. Nikiforov-Nikishin – Candidate of Biology; Assistant Professor of the Department of Ecology and Nature Management; K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University); Russia, 109004, Moscow; akvabiotex@rambler.ru.

Oleg V. Gorbunov – Senior Lecturer of the Department of Ecology and Nature Management; K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University); Russia, 109004, Moscow; akvabiotex@rambler.ru.

