

ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕСНОВОДНЫХ РАЧКОВ CERIODAPHNIA DUBIA RICHARD, 1894 ПРИ ДЕЙСТВИИ НИТРАТА СВИНЦА

CHANGES IN THE BIOLOGICAL PARAMETERS OF FRESHWATER SHELL CERIODAPHNIA DUBIA RICHARD, 1894 UNDER THE ACTION OF LEAD NITRATE

*E. Fomicheva
V. Bolshakova*

Summary. The effect of lead at a concentration of 0.02 mg/l on the population indicators of Ceriodaphnia dubia depending on the age of individuals at the time of exposure to a medium with a toxicant and its effect on a number of generations of crustaceans was studied. The results of the study showed that the nature of the toxic effect, expressed in a statistically significant change in prolificacy, varies depending on the age at which the toxic effect begins on the crustaceans. When 1-day-old crustaceans are placed in a toxicant solution, a statistically significant decrease in the total number of offspring and the average number of litters per female is observed compared to the control. In the case of using mature individuals, the effect of hormesis was observed, which manifested itself in a statistically significant increase in the total number of offspring in the experiment. When studying the effect of lead on a number of generations of ceriodaphnia, an increase in the inhibitory effect was revealed, which is expressed in a statistically significant decrease in the lifespan of crustaceans and the number of offspring in subsequent generations of crustaceans.

Keywords: toxic effect, lead nitrate, Ceriodaphnia dubia, prolificacy, survival, heavy metals, hormesis, biotesting.

Фомичева Елена Михайловна

*К.б.н., доцент, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова
fomalyona@bk.ru*

Большакова Виктория Владимировна

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Аннотация. Исследовано действие свинца в концентрации 0,02 мг/л на популяционные показатели Ceriodaphnia dubia в зависимости от возраста особей на момент помещения в среду с токсикантом и его влияние на ряд поколений рачков. Результаты исследования показали, что характер токсического эффекта, выражающийся в статистически значимом изменении показателей плодовитости, меняется в зависимости от того, с какого возраста на рачков начинается токсическое воздействие. При помещении 1-суточных рачков в раствор токсиканта наблюдается статистически значимое уменьшение общего количества потомков и среднего количества пометов на одну самку по сравнению с контролем. В случае с использованием половозрелых особей наблюдался эффект гормезиса, проявляющийся в статистически значимом увеличении общего числа потомков в опыте. При изучении влияния свинца на ряд поколений цериодафний выявлено усиление угнетающего действия, выражающееся в статистически значимом снижении продолжительности жизни рачков и численности потомства в последующих генерациях рачков.

Ключевые слова: токсический эффект, нитрат свинца, Ceriodaphnia dubia, плодовитость, выживаемость, тяжелые металлы, гормезис, биотестирование.

Введение

Проблема загрязнения водных объектов токсичными веществами имеет длительную историю и не теряет своей актуальности. Для решения данной проблемы или хотя бы ее минимизации, разрабатываются нормативы сбросов загрязняющих веществ в водоемы, основанные на отношении к предельно допустимым концентрациям веществ. Однако при разработке ПДК не учитываются ряд факторов, которые могут сыграть огромную роль в общем токсическом эффекте организма на антропогенное загрязнение. При оценке безопасности водной среды не учитываются возрастные и гендерные особенности реагирования на токсиканты [11]. Однако известно, что токсический эффект зачастую

имеет возрастную корреляцию [43; 34] и возрастные группы популяции одного вида могут по-разному реагировать на воздействия факторов среды [28].

Одними из приоритетных загрязнителей по-прежнему являются тяжелые металлы и, в частности, свинец, относящийся к десятку приоритетных загрязнителей по данным Всемирной организации здравоохранения. Свинец, обладая высокой биологической активностью [29], даже в концентрациях ниже ПДК может оказывать разнонаправленное действие на водные организмы [42]. К тому же токсический эффект может проявляться при значениях содержания веществ ниже нормативных значений [32], зависеть от качественных характеристик воды (жесткость, щелочность, pH и др.), присутствия

в среде других токсикантов, от вида организма, стадии его развития, физиологических и биохимических особенностей организма [15, 36, 37, 38, 40]. В ряде работ отмечается некоторое превышение содержания тяжелых металлов, в том числе свинца, в речных и подземных водах [4, 12, 21, 23], что может приводить к их накоплению в иловых отложениях и вторичному загрязнению водной толщи [3, 27].

Цель работы

Оценить влияние ионов свинца на популяционные показатели рачков *Ceriodaphnia dubia* Richard, 1894 с учетом от возраста и поколения рачков.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили согласно стандартным методикам на синхронизированной культуре *C. dubia* [8, 17]. Культивирование и эксперименты на рачках выполняли в контролируемых условиях в климатостате при температуре воздуха +22–24 °C с фотопериодом 16 часов освещения и 8 часов темноты.

В качестве исследуемого соединения использовали свинец азотнокислый. Для определения хронического токсического действия была выбрана исходная концентрация 0,02 мг/л, что в пересчете на ион свинца составляет 0,0125 мг Pb/л. В свою очередь, ПДК свинца азотнокислого в питьевой воде составляет 0,03 мг Pb/л, а в водах водных объектов рыбохозяйственного значения 0,01 мг/л по веществу или 0,006 мг Pb/л в пересчете на Pb [22].

Для выявления хронического токсического действия свинца рачков в возрасте не более 24 часов по одному помещали в стеклянные пузырьки с 15 мл исследуемого раствора. Один раз в двое суток проводили учет смертности и родившейся молоди в опыте и контроле, пересадку выживших самок в свежеприготовленный раствор токсиканта (опыт) и отстоянную аэрированную воду (контроль). Кормление рачков производили суспензией дрожжей и зеленых протококковых водорослей *Chlorella sp.* [8].

Первая серия экспериментов была проведена на двух возрастных группах рачков. Первая группа помещалась в токсикант сразу после рождения, вторая группа помещалась в токсикант в возрасте 5 суток, когда особи достигали половозрелости. Определение токсичности тестируемого раствора проводили в трёх повторностях, по 7 особей в каждой. Продолжительность хронического эксперимента в первой серии составила 52 суток. Оценивали выживаемость и плодовитость рачков.

Во второй серии экспериментов использовали рачков возрастом не более 24 часов, испытания проводились до гибели последней особи. Оценивали выживаемость и плодовитость материнских особей, особей 4 поколения — F1 (четвертый помет материнских особей) и особей 2 поколения — F2 (первый помет от поколения F1). Определение токсичности тестируемого раствора в материнском поколении и поколении F1 проводили в трёх повторностях, по 7 особей в каждой, в поколении F2 опыт ставился на двух повторностях по 6 особей в каждой.

Отмечали следующие показатели: выживаемость, продолжительность жизни, количество особей со сниженной и повышенной продолжительностью жизни, суммарная численность потомства, среднее число молюды и пометов на одну самку.

Результаты обрабатывали статистически с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2016 и Statistica 12 (USA, Statsoft. Inc.). Все полученные данные имели ненормальное распределение, поэтому для проверки значимости различий использовался непараметрический U-критерий Манна-Уитни (Mann Whitney U test), уровень значимости $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Нормирование содержания загрязняющих веществ в водной среде предполагает проведение хронических экспериментов с использованием разных видов гидробионтов, в том числе цериодафний, определенного возраста. В частности, в опытах с цериодафниями используются рачки возрастом не более 24 часов. Ответная реакция организма на действие экологических факторов у беспозвоночных может иметь возрастную специфику. Так, резистентность дафний к воздействию, в частности к бактериальному заражению, может меняться с возрастом и зависеть от условий среды, в которых находились материнские особи [33]. Использование особей разного возраста и ряда поколений рачков, позволяют оценить, как прямое воздействие на индивидуальном и популяционном уровнях, так и отдаленные эффекты загрязнения за счет процессов аккумуляции веществ.

Действие нитрата свинца в концентрации 0,02 мг/л с 1 суток жизни рачков не оказывало влияния на выживаемость и продолжительность жизни рачков, количество особей со сниженной (менее 22 суток) и повышенной (более 34 суток) продолжительностью жизни. Известно, что антропогенное воздействие может не влиять на выживаемость и соматическую скорость роста ветвистоусых рачков, но приводить к изменению репродуктивных показателей [9]. Выявлено статистически значимое уменьшение суммарного количества по-

томства, среднего числа родившейся молоди (на 57%) в опытной группе, что может свидетельствовать о влиянии свинца на сроки отрождения молоди и период развития эмбрионов. Несмотря на то, что общая динамика рождаемости имеет сходный характер в контрольной и опытной выборках, выявлено достоверное снижение среднего числа помётов на одну самку (на 36,6%), что свидетельствует об увеличении промежутка времени, необходимого для созревания потомства. Угнетающий эффект действия свинца вероятно обусловлен концентрированием действующего вещества-эффектора в определенных тканях и клетках [10]. При действии тяжелых металлов токсический эффект может проявляться в изменении среднего числа помётов и общего количества родившейся молоди. Возможно, это связано с увеличением длительности созревания эмбрионов, а не уменьшением их числа в помёте [1]. Известно, что тяжелые металлы влияют на репродуктивную систему, процессы наследования генетических признаков, воспроизводства потомства [31] и способны вызывать нарушения в цепи поведенческих актов в ходе размножения, что может приводить к аномалиям в эмбриональном развитии гидробионтов [1, 14, 15, 13, 20].

При помещении рачков в раствор токсиканта по достижении ими половозрелости статистически значимых отличий по выживаемости, показателям продолжительности жизни не выявлено. Однако, в отличие от первой серии экспериментов, выявлен стимулирующий эффект репродуктивной функции — достоверное увеличение среднего числа родившейся молоди на 1 самку на 82%, что свидетельствует о возможности гормезиса при действии потенциально токсичных соединений [6]. Общая динамика рождаемости имеет сходный характер в контрольной и опытной выборках. По показателю среднего числа помётов на 1 самку статистически значимых отличий не выявлено. Известно, что развитие эмбриона в выводковой камере может длиться от 1 до 4 дней, что соответственно приводит к рождению потомства через 2–4 дня [16]. Таким образом, показан стимулирующий эффект на репродуктивную функцию цериодафний при действии нитрата свинца на рачков, имеющих сформированную репродуктивную систему.

Анализ токсичности нитрата свинца только по возрастному принципу дает двойственное представление о его токсичности. Поэтому была проведена третья серия экспериментов для оценки токсичности свинца на несколько поколений. Для материнских особей отличий по показателям продолжительности жизни не выявлено. Однако обнаружено статистически значимое влияние по показателю численности потомства — снижение как общей, так и среднего числа молоди на одну самку, а также среднего числа помётов на одну самку, что под-

тверждает данные, полученные для первой серии экспериментов.

В поколении F1 отмечено достоверное снижение средней продолжительности жизни рачков, суммарного количества потомства, среднего числа молоди (на 75%) и помётов на 1 самку (на 61%) в опыте. Динамика рождаемости в контроле и опыте имела сходный характер.

Оценка показателей продолжительности жизни и плодовитости поколения F2, являющееся первым помётом поколения F1 также показала угнетающее действие нитрата свинца на популяционные показатели. Средняя продолжительность жизни достоверно снижается практически в 2 раза. Статистически значимо отличаются результаты по крайним значениям продолжительности жизни — минимальная продолжительность жизни в контрольном варианте составляла 26 суток, а в опытном — 2, максимальная продолжительность жизни в контроле — 75 суток, в опыте — 49. Более чем на 60% снижается среднее число родившейся молоди на 1 самку и практически в 2 раза уменьшается число помётов. Это свидетельствует как о требуемом большем промежутке времени на созревание потомства и репродуктивные процессы, так и о влиянии на репродуктивный потенциал.

Вероятно, в первой и второй генерации рачков проявляется токсический эффект, основанный как на прямой биоаккумуляции металла в организме матери, так и «материнском эффекте», когда качественные и количественные показатели потомства могут быть обусловлены условиями жизни материнского организма [2, 5]. Свинец имеет высокую способность к разной степени адсорбции в зависимости от условий среды, биоаккумуляции и биомагнификации [18, 30, 24, 35, 41]. Он активно влияет на биохимические процессы, энергетический баланс клетки и ее генетический аппарат, обладает способностью аккумулироваться в телах гидробионтов, обуславливает отдаленные генетические, канцерогенные, гонадо- и эмбриотоксичные последствия [7, 19, 25, 26, 29, 39, 40, 44].

Таким образом, влияние свинца на цериодафний связано с их возрастными особенностями и со степенью родства по отношению к общим предкам. Продолжительность жизни и общее количество особей в потомстве определяет сохранность вида и имеет значительную роль при оценке токсичности, т.к. от этого показателя зависит потенциальная возможность воспроизводства и сохранение численности особей в популяции. Однако решающее значение имеет продолжительность воздействия свинца на череду поколений, т.к. это приводит к еще большему снижению популяционных показателей за счет способности свинца к материальной и функциональной аккумуляции.

Заключение

Направленность токсического эффекта действия свинца на функциональные показатели цериодафний зависит от времени начала действия токсиканта на организм, его возраста и продолжительности воздействия в ряду поколений.

Вне зависимости от начального возраста рачков, подвергавшихся воздействию токсиканта, достоверного влияния свинца на выживаемость, показатели продолжительности жизни. Однако, выявлено разнонаправленное действие свинца на плодовитость в зависимости от возраста рачков, в котором их помещают в токсикант.

При экспозиции рачков в растворе токсиканта с 1 суток жизни выявлен угнетающий токсический эффект, выражающийся в снижении численности потомства. При экспозиции рачков в токсиканте с момента половозрелости проявляется стимулирующий эффект, выражающийся в увеличении плодовитости.

При оценке функциональных показателей рачков, экспонирующихся в растворе свинца в нескольких поколениях выявлено усиление токсического эффекта для их последующих генераций. Помимо влияния на плодовитость рачков, отмечается снижение средней продолжительности жизни рачков как в первом, так и во втором поколении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрова В.В. Применение метода биотестирования в анализе токсичности природных и сточных вод (на примере Нижневартковского района Тюменской области). Нижневартковск: Изд-во Нижневарт. гуманит. ун-та. 2009. 94 с.
2. Алексеев В.Р., Казанцева Т.И. Использование индивидуально-ориентированной модели для изучения роли материнского эффекта в смене типов размножения у Cladocera // Журнал общей биологии. 2007. Т. 68. № 3. С. 231–240.
3. Алимova Г.С., Дударева И.А., Токарева А.Ю., Земцова Е.С. Накопление свинца в нижнем течении реки Иртыш // Успехи современного естествознания. 2017. № 10. С. 54–59.
4. Валиева А.С., Харькина А.М., Коломийцев Н.В. Состояние абиотических и биотических компонент экосистем долины реки Клязьма на участке г. Пушкино — г. Владимир в условиях техногенеза // Сергеевские чтения: геоэкологические аспекты реализации национального проекта «Экология». Диалог поколений. Сборник трудов конференции. 2020. С. 355–360.
5. Вербицкий В.Б., Вербицкая Т.И., Малышева О.А. Плодовитость Ceriodaphnia affinis при различных температурных режимах—отсроченная реакция или «материнский эффект»? // Zoocenosis-2009. Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах V Міжнародна наукова конференція. С. 42–44.
6. Гершкович Д.М. Гормезис при действии потенциально токсичных веществ в пожизненных испытаниях (на примере Ceriodaphnia affinis Lilljeborg): автореф. дисс. . . канд. биол. наук. Москва. 2012.
7. Голованова И.Л. Влияние тяжелых металлов на физиолого-биохимический статус рыб и водных беспозвоночных // Биология внутренних вод. 2008. № 1. С. 99–108.
8. Жмур Н.С. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости цериодафний ФР.1.39.2007.03221. М.: АКВАРОС. 2007. 56 с.
9. Задереев Е.С., Лопатина Т.С., Зотина Т.А., Зотина Т.А., Оськина Н.А., Дементьев Д.В., Петриченко М.В. Влияние гамма-облучения на покоящиеся яйца и жизненный цикл ветвистоусого рачка Moina macroscora // Доклады Академии наук. Федеральное государственное унитарное предприятие Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр Наука. 2016. Т. 466. № 5. С. 611–615.
10. Захаров С.М., Иванов Д.Е., Емельянова Н.В., Ларин И.Н., Чупис В.Н., Губина Т.И. Особенности влияния растворов малых и сверхмалых концентраций солей меди и свинца на выживаемость дафний (Daphnia magna) // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 3. С. 43–47.
11. Иванов Д.Е., Сулейманов Р.А., Косарев А.В., Микеров А.Н., Кошелева И.С., Валеев Т.К. Возможности применения методов биотестирования в интегральной оценке качества поверхностных источников водоснабжения населения // Медицина труда и экология человека. 2022. № 1. С. 159–176.
12. Козлов А.В., Машакин А.М., Дедык В.Е., Воронцова А.А., Акафьева Д.В., Соколов И.С., Кондрашин Б.В., Миронова Ю.И., Тарасов И.А. Эколого-гидрохимическое состояние акваторий Оки и Волги в черте городской агломерации Нижнего Новгорода по показателям катионно анионного состава и содержания тяжелых металлов // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 4. С. 172.
13. Краснова Е.Д. Последствия кратковременного воздействия высоких концентраций солей Pb (II) и Co (II) на Daphnia magna Straus. // Бюллетень Самарская Лука. Институт экологии Волжского бассейна РАН. 2002. № 12. С. 159–166.
14. Лопатина Т.С. Бобровская Н.П., Оськина Н.А., Задереев Е.С. Сравнительное исследование токсического воздействия никеля и кадмия на активные и покоящиеся стадии ветвистоусого рачка Moina macroscora // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2017. Т. 10. № 3. С. 358–372.
15. Малахов В.В., Медведева Л.А. Эмбриональное развитие двустворчатых моллюсков в норме и при действии тяжелых металлов. 1991. М.: Наука. 134 с.
16. Мануйлова Е.Ф. Ветвистоусые рачки (Cladocera) фауны СССР. 1964. Москва; Ленинград: Наука. 329 с.
17. Михеев Н.Н. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов РФИА. М.: НИИ-Природа. 2002. 118 с.
18. Моисеенко Т.И. Влияние геохимических факторов водной среды на биоаккумуляцию металлов в организме рыб // Геохимия. 2015. № 3. С. 222–233.
19. Новикова М.А., Пушкарев Б.Г., Судаков Н.П., Никифоров С.Б., Гольдберг О.А., Явербаум П.И. Влияние хронической свинцовой интоксикации на организм человека (сообщение 1) // Сибирский медицинский журнал. 2013. № 2. С. 13–16.

20. Олькова А.С. Сравнение чувствительности тест-организмов *Daphnia magna* и *Ceriodaphnia affinis* к соединениям алюминия // Успехи современного естествознания. 2015. № 11. С. 203–205.
21. Орешкин В.Н., Хрисанов В.Р. Изменчивость концентрации кадмия и свинца в воде крупной равнинной реки за 30-летний период наблюдений // Жизнь Земли. 2021. Т 43, № 4. С. 461–471.
22. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года № 552 Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения. В том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного назначения [Электронный ресурс] <https://yaaspirant.ru/wp-content/uploads/2020/07/GOST-R-7.0.5-2008-Bibliograficheskaya-ssylka-.pdf?ysclid=I9zmnuqqrz165450942> (дата обращения 02.11.2022)
23. Платонова Т.П., Пакулина А.П., Тарасенко О.В., Лобарев С.А. Содержание микроэлементов в водах левобережных притоков Амура // Проблемы экологии Верхнего Приамурья. 2013. Т. 15. С. 25–29.
24. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Сорбционные процессы при загрязнении подземных вод тяжелыми металлами и радиоактивными элементами. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН. 2016. 123 с. (Сер. Экология. Вып. 105.)
25. Слесарев В.И. Химия: основы химии живого. СПб.: Химиздат. 2001. 784 с.
26. Смирнов Н.Н. Современное состояние и перспективы исследований физиологии ветвистоусых ракообразных (Cladocera, Crustacea) // Зоологический журнал. 2016. Т. 95. № 7. С. 788–804.
27. Соловых Г.Н., Шостак Е.И., Осинкина Т.В. Кадмий и свинец в илах реки Урал: валовое содержание и распределение // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические науки. 2020. № 8. С. 25–30.
28. Тарасова Р.А., Шипулин С.В., Тарасова Л.И. Влияние абиотических факторов среды на популяцию *Calanipeda aquae-dulcis* // Вестник АГТУ. 2007. № 3(38). С. 29–33.
29. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Карапетян Т.А., Доршакова Н.В. Влияние свинца на живые организмы // Журнал общей биологии. 2020. Т. 81. № 2. С. 147–160.
30. Чуйко Е.В. Влияние содержания тяжелых металлов в донных отложениях на их биоаккумуляцию в ихтиофауне // Астраханский вестник экологического образования. 2013. № 3(25). С. 139–144.
31. Шилова Н.А. Влияние тяжёлых металлов на представителей пресноводного фито- и зоопланктона в условиях засоления: дис... канд. биол. наук: Саратов, 2014.
32. Cooper N.L., Bidwell J.R., Kumar A. Toxicity of copper, lead and zinc mixtures to *Ceriodaphnia dubia* and *Daphnia carinata* // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2009. V. 72, P. 1523–1528.
33. Garbutt J.S., O'Donoghue A.J.P., McTaggart S.J., Wilson P.J., Little T.J. The development of pathogen resistance in *Daphnia magna*: implications for disease spread in age-structured populations // Journal of Experimental Biology. 2014. V. 217. № 21. P. 3929–3934.
34. Gowder S.J.T. New insights into toxicity and drug testing. BoD—Books on Demand. 2013. 254 p.
35. Lee Ju-Wook, Choi Hoon, Hwang Un-Ki, Kang ju-Chan, Kang Yue Jai, Kim Kwang Il, Kim Jun-Hwan Toxic effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune response in fish: A review // Environmental Toxicology and Pharmacology. 2019. Volume 68. Pp. 101–108.
36. Li L., Sun F., Liu O., Zhao X., Song K. Development of regional water quality criteria of lead for protecting aquatic organism in Taihu Lake, China // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2021. V. 222. 112479
37. Lichao Wang, Liqun Xing, Jie Sun and Liye Yang. Combined toxicity of Cooper, Cadmium and Lead toward *Daphnia magna*: recommendation for bioassay-based whole effluent toxicity (WET) testing in China // Journal of surgical Oncology. 2020. Vol 3(6). P. 2–7.
38. Kelly A. Heys, Richard F. Shore, M. Gloria Pereira, Kevin C. Jones and Francis L. Martin. Risk assessment of environmental mixture effects // RSC Advances. 2016. Vol.16. P. 47844–47857.
39. Mager E.M., Brix K.V., Gerdes R.M. Ryan A.C., Grosell M. Effects of water chemistry on the chronic toxicity of lead to the cladoceran, *Ceriodaphnia dubia* // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2011. V. 74, P. 238–243.
40. Mager E.M., Esbaugh A.J., Brix K.V., Ryan A.C., Grosell M. Influences of water chemistry on the acute toxicity of lead to *Pimephales promelas* and *Ceriodaphnia dubia* // Comp. Biochem. Physiol. 2011. 153(1). P. 82–90.
41. Spehar R.L., Anderson R.L., Fiandt J.T. Toxicity and bioaccumulation of cadmium and lead in aquatic invertebrates // Environmental pollution. 1978. Volume 15. Issue 3. Pp. 195–208.
42. Stebbing, A.R.D. Hormesis — The stimulation of growth by low levels of inhibitors // Science of The Total Environment. 1982. № 22(3). P. 213–234.
43. Stuhlbacher A. et al. Variation in the development of cadmium resistance in *Daphnia magna* Straus; effect of temperature, nutrition, age and genotype // Environmental Pollution. 1993. V. 80. № 2. P. 153–158.
44. Tjalve H., Stahl K. Effect of 5-Chloro-7-iodo-8-hydroxy-quinoline (Clioquinol) on the Uptake and Distribution of Nickel, Zinc and Mercury in Mice // Acta Pharmacol, et toxicol. 1984. V. 55. № 1. P. 65–72.