

Биотестирование неоникотиноида тиаметоксама с использованием сеголеток *Cyprinus carpio*

© 2020. Н. М. Абдуллаева^{1,2}, к. б. н., доцент,
П. Ш. Гитинова², к. м. н., доцент, Н. А. Загирова², к. м. н.,
Ш. И. Чалабов^{1,3}, аспирант, м. н. с.,

¹Дагестанский государственный университет,
367000, Россия, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 43а,

²Дагестанский государственный медицинский университет,
367000, Россия, г. Махачкала, пл. Ленина, д. 1,

³Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова,
194223, Россия, г. Санкт-Петербург, пр. М. Тореца, д. 44,
e-mail: caca1@yandex.ru

Применяемые в сельском хозяйстве и смываемые с полей пестициды попадают в водные объекты, загрязнение которых приводит к острым и хроническим токсикозам гидробионтов, обитающих в них. Вследствие этого значимость изучения влияния пестицидов на гидробионтов не вызывает сомнения. Особый интерес у исследователей вызывает тиаметоксам, новый инсектицид из группы неоникотиноидов. Объектом исследования послужили сеголетки карпа обыкновенного. Исследование проводилось в двух сериях эксперимента: в первой серии было изучено влияние 20 предельно допустимых концентраций (ПДК) пестицида, а во второй – 50 ПДК. Экспозиция рыб в растворе пестицида проводилась в течение 5, 15 и 30 сут. Оказалось, что 50 ПДК пестицида оказывает более губительное влияние на хрупкость мембран эритроцитов и перераспределение популяционного состава эритроцитов по сравнению с 20 ПДК. Тем не менее, в обеих сериях эксперимента, по мере пролонгирования экспозиции рыб в среде с пестицидом отмечалась адаптация рыб к влиянию тиаметоксама, при действии 20 ПДК более выраженная по сравнению с 50 ПДК, причём, чем дольше рыбы пребывали в растворе с пестицидом, тем сильнее была выражена адаптация. Таким образом, показано, что рыбы способны адаптироваться к хроническому воздействию малых доз токсиканта, тогда как к большим дозам адаптация происходит лишь частично.

Ключевые слова: сеголетки *Cyprinus carpio*, кислотная резистентность, гемолиз, эритроциты, мембраны, эритрограмма, пестициды, тиаметоксам.

Biotesting of neonicotinoids of thiamethoxam with the use of *Cyprinus carpio*

© 2020. N. M. Abdullaeva^{1,2}, ORCID: 0000-0002-9616-9606, P. S. Gitinova², ORCID: 0000-0001-5876-9508,
N. A. Zagirova², ORCID: 0000-0001-5616-2606, S. I. Chalabov¹, ORCID: 0000-0001-5707-2070,

¹Dagestan State University,
43a, M. Gadjiyeva St., Mahachkala, Russia, 367000,

²Dagestan State Medical University,

1, Lenina Ploshchad, Mahachkala, Russia, 367000,

³Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry named after I. M. Sechenov,
44, Prospekt M. Toreza, St. Petersburg, Russia, 194223,

e-mail: caca1@yandex.ru

The significance of studying the effect of pesticides on living organisms in general is not in doubt. Of particular interest to researchers is thiamethoxam, the intended effect of which on fish is not fully understood. The object of study is the fingerlings of *Cyprinus carpio*. The studies were carried out in two series of experiments: in the first series, the effect of 20 MPC of the pesticide was studied, and in the second, 50 MPC. Exposure of fish in the pesticide solution was carried out for 5, 15 and 30 days. It turned out that 50 MPC of a pesticide has a more detrimental effect on the fragility of erythrocyte membranes and the redistribution of the population composition of erythrocytes compared to 20 MPC. However, in both series of the experiment, as the exposure of fish to the environment with the pesticide is prolonged,

fish adapt to the effects of thiamethoxam. Under the action of 20 MPC, adaptation was more pronounced compared with 50 MPC, and, the longer the fish remained in the solution with the pesticide, the stronger the adaptation was pronounced. Thus, it has been shown that fish are able to adapt to the chronic effects of low doses of a toxicant, whereas adaptation to high doses is only partially.

Keywords: *Cyprinus carpio*, acid resistance, hemolysis, erythrocytes, membranes, erythrogram, pesticides, thiamethoxam.

Глобальное применение пестицидов в современном сельском хозяйстве приводит к активному загрязнению биосферы. Известно, что всего 0,1% применяемых пестицидов действует по назначению, тогда как остальная их часть рассеивается в окружающей среде [1, 2]. Смываемые с полей пестициды попадают в водные объекты, загрязнение которых приводит к острым и хроническим токсикозам гидробионтов [3]. Поступая в организм рыб, пестициды распределяются по всем органам и тканям, вследствие чего возникает некробиоз клеток паренхиматозных органов, нарушение координации движения, судороги и тремор мускулатуры, потеря рефлексов и гибель рыб и других гидробионтов. Накапливаясь в организмах гидробионтов, пестициды в дальнейшем могут передаваться по трофическим цепям более высоким звеньям, и аккумулируясь в организмах, вызывают развитие интоксикации, патологии, а, в крайнем случае, и гибель [4].

Особый интерес у исследователей вызывает тиаметоксам – хлорорганический системный пестицид, воздействующий на ацетилхолиновые рецепторы нервной системы насекомых. Несмотря на то, что потенциальный риск для гидробионтов был признан минимальным [5], есть данные литературы, свидетельствующие о том, что тиаметоксам приводит к задержке полового созревания, морфометрическим измерениям, нарушению липидного и энергетического обменов, развитию окислительного стресса и повреждению ДНК, а в высоких дозах является остротоксичным веществом [6–9]. И хотя производители указывают, что тиаметоксам не влияет на ацетилхолиновые рецепторы рыб, результаты исследований показывают, что под его воздействием активность ацетилхолинэстеразы всё же снижается [10].

Учитывая вышесказанное, целью работы было исследование влияния тиаметоксама на физиологическое состояние сеголеток карпа обыкновенного (*Cyprinus carpio*).

Объекты и методы

Для более полной оценки воздействия тиаметоксама на рыб, исследования проводились

при двух концентрациях и на протяжении тридцати суток.

Карпы были выбраны в качестве объекта исследования, потому что они являются аккумулятивными биоиндикаторами загрязнения хлорорганическими пестицидами водных экосистем [11]. Причём наиболее чувствительны к токсическим воздействиям рыбы на ранних этапах онтогенеза, поэтому действие ксенобиотиков предпочтительнее изучать на молоди [12].

Так как гематологические показатели дают информативную картину для понимания изменчивости морфофизиологических параметров [13], в качестве основного метода исследований нами был выбран метод кислотной резистентности эритроцитов, адаптированный для пойкилотермных животных. Единственная функция эритроцитов – транспорт кислорода, и как следствие, они очень уязвимы к стрессовым факторам, все изменения в организме отражаются на их функционировании. Благодаря этому данный метод позволяет быстро и точно оценить физиологическое состояние организма.

В эксперименте участвовало 40 сеголеток карпа возрастом 5–6 месяцев. Эксперимент проводили в 2 сериях: исследовали влияние 20 и 50 ПДК пестицида на состояние рыб.

Содержались рыбы в четырёх аквариумах по 5 рыб в каждом (каждый аквариум объёмом 100 литров с постоянной аэрацией и температурой 21 °С). В 3 аквариума предварительно добавляли токсикант в форме промышленного препарата «Актара» (торговое название тиаметоксама) (ПДК = 0,01 мг/л) в концентрациях 0,2 и 0,5 мг/л, что соответствует 20 и 50 ПДК препарата соответственно. Рыбы, обитавшие в аквариуме без пестицида, были приняты за контроль. Отбор проб проводили на 5, 15 и 30 сут экспозиции рыб в среде с поллютантом.

Кровь получали из хвостовой вены. Проводили анализ кислотной устойчивости эритроцитов [14]. Полученную кровь разводили 0,65% раствором NaCl до оптической плотности 0,700. После этого полученный раствор делили на две части, одну часть замещали 0,004н HCl и каждые 15 секунд фиксировали значения оптической плотности при длине волны 450 нм. По полученным значениям

строили эритрограммы и высчитывали популяции эритроцитов. Результаты подвергли статистической обработке методом малой выборки и сравнительному анализу по отношению к контрольной группе.

Результаты и обсуждение

Концентрации пестицида, превышающие норму в 20 и 50 раз, влияют на кислотную устойчивость эритроцитов в разной степени (рис.).

При остром контакте с 20 ПДК тиаметоксама существенно сокращается время гемолиза, однако по мере пролонгирования экспозиции с пестицидом скорость гемолиза снижается и к концу эксперимента эритроциты рыб в опыте разрушались медленнее, чем у рыб в контроле. 50 ПДК тиаметоксама оказали более заметное

воздействие на хрупкость эритроцитов. При остром контакте скорость гемолиза возрастает, а по мере пролонгирования пребывания рыб в среде с поллютантом также наблюдается адаптация рыб, однако выражена она значительно слабее по сравнению с 20 ПДК.

Количество эритроцитов, лизировавших к моменту наступления пика эритрограмм, у рыб, контактировавших с малыми концентрациями пестицида, по мере пролонгирования эксперимента приближается к контролю. В то же время на протяжении всего эксперимента при воздействии больших концентраций тиаметоксама к моменту пика гемолиза эритроцитов разрушалось больше, чем у контрольных рыб.

Следует обратить внимание на начальные участки эритрограмм контрольных рыб, которые характеризуют предгемолизные

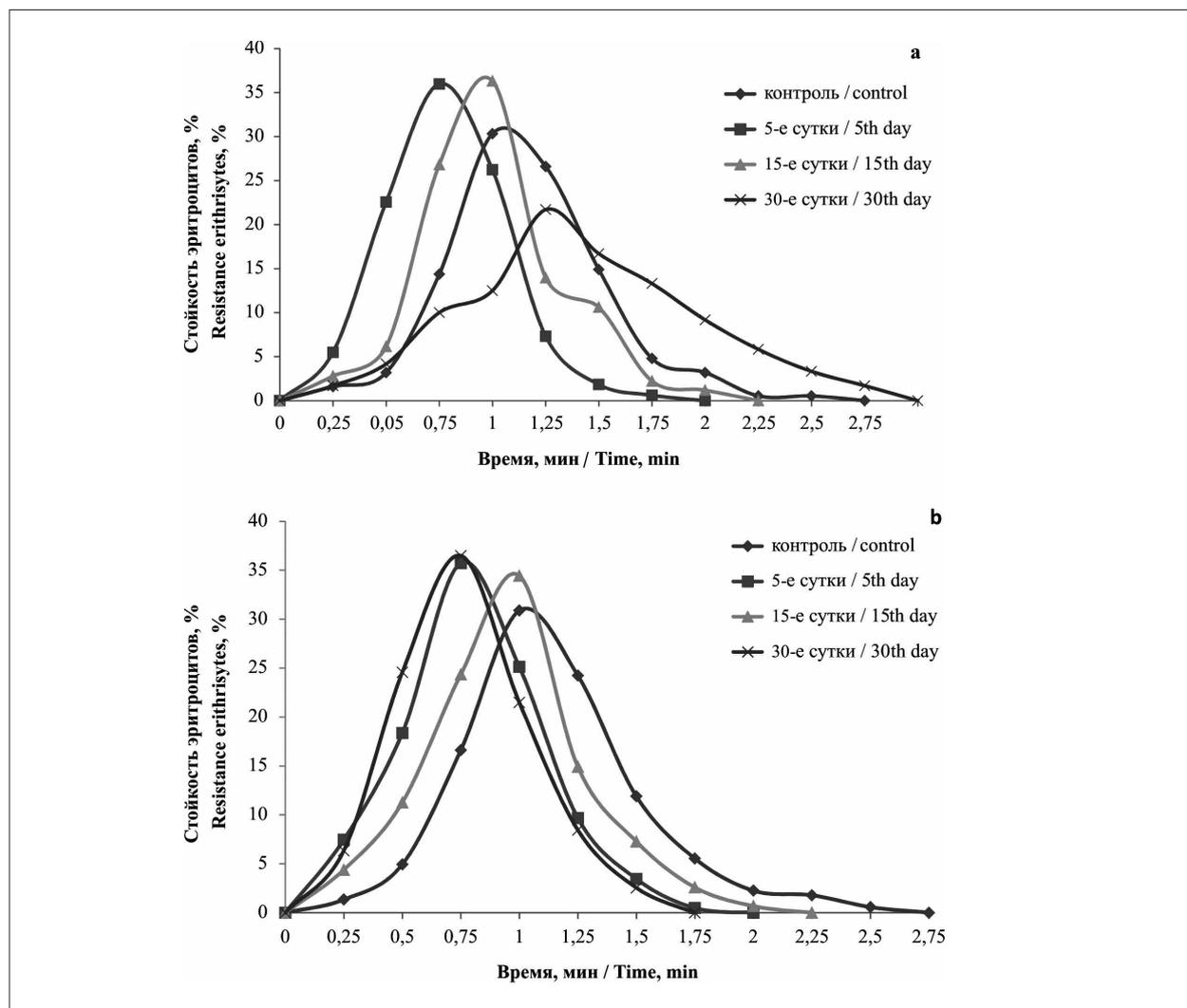


Рис. Влияние 20 (а) и 50 (b) ПДК пестицида тиаметоксама на кислотную устойчивость эритроцитов сеголеток карпа обыкновенного
Fig. Influence of 20 (a) and 50 (b) MPCs of the pesticide thiamethoxam on the acid resistance of erythrocyte of carp juvenile

Таблица / Table

Популяционный состав эритроцитов сеголеток карпа обыкновенного при контакте с 20 и 50 ПДК пестицида тиаметоксам, %
Population composition of erythrocytes of carp ordinary juvenile in contact with 20 and 50 MPCs of pesticide thiamethoxam, %

| Популяции эритроцитов Red cell population | Контроль Control | 5 сутки 5 th day | 15 сутки 15 th day | 30 сутки 30 th day |
|--|---------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 20 ПДК / 20 MPC | | | | |
| Низкостойкие Low-resistant | 5,12±0,5 | 28,05±1,2 <i>p</i> < 0,01 | 8,94±0,8 <i>p</i> < 0,001 | 6,40±0,6 <i>p</i> < 0,001 |
| Среднестойкие Medium-resistant | 86,18±1,7 | 71,35±1,6 <i>p</i> < 0,01 | 87,71±1,1 <i>p</i> < 0,1 | 74,20±1,5 <i>p</i> < 0,01 |
| Высокостойкие Highly resistant | 9,04±0,6 | 0,61±0,07 <i>p</i> < 0,001 | 3,41±0,4 <i>p</i> < 0,001 | 20,03±1,9 <i>p</i> < 0,01 |
| 50 ПДК / 50 MPC | | | | |
| Низкостойкие Low-resistant | 6,25±0,6 | 30,90±1,4 <i>p</i> < 0,001 | 25,81±1,1 <i>p</i> < 0,01 | 15,64±1,1 <i>p</i> < 0,1 |
| Среднестойкие Medium-resistant | 83,62±1,6 | 68,94±1,2 <i>p</i> < 0,1 | 73,96±1,9 <i>p</i> < 0,1 | 80,94±1,8 <i>p</i> < 0,001 |
| Высокостойкие Highly resistant | 10,13±0,9 | 0 | 0,47±0,04 <i>p</i> < 0,001 | 3,25±0,3 <i>p</i> < 0,001 |

изменения в связи с переходом клеток в сферическую форму. При остром контакте с 20 ПДК тиаметоксама эти участки отсутствуют, однако, чем дольше сеголетки находятся во взаимодействии с пестицидом, тем сильнее они выражены. Контакт с 50 ПДК приводит к полному отсутствию предгеомолизных изменений на эритрограммах.

Острый контакт с тиаметоксамом смещает пики эритрограмм влево. При хроническом взаимодействии с малыми концентрациями пестицида, пики постепенно смещаются вправо, а большие концентрации тиаметоксама к концу эксперимента смещают пики эритрограмм к контрольным значениям. Известно, что наиболее стойкие молодые эритроциты занимают на эритрограмме правое положение. Циркулируя в русле крови, они созревают, стареют, становятся более хрупкими, что на эритрограмме отражается смещением влево [15].

Из вышесказанного следует, что смещение пиков эритрограмм влево, изменение их начальных участков и увеличение количества эритроцитов, распавшихся к моменту пика гемолиза, указывает на деструкцию мембран и изменение популяционного состава эритроцитов (табл.).

Одной из причин повышения осмотической хрупкости эритроцитов является изменение структуры мембранных липидов и белков вследствие развития окислительного стресса. Показано, что тиаметоксам приводит

к накоплению в жабрах, печени и селезёнке рыб малонового диальдегида, одного из продуктов перекисного окисления липидов. Одновременно с этим происходит снижение активности антиоксидантных ферментов [8]. Помимо того, что тиаметоксам стимулирует развитие окислительного стресса, он приводит к нарушениям энергического обмена, что также индуцирует образование свободных радикалов, и, как следствие, ещё больше снижается стойкость мембран эритроцитов [9]. Усугубляют ситуацию нарушения липидного обмена, вызванные отравлением тиаметоксамом. Липиды – ключевой компонент мембран, и нарушения их обмена, тем более на фоне интенсивного образования свободных радикалов и сдвигов в энергетическом балансе клетки крайне негативно сказывается на устойчивости эритроцитов [6].

Токсическое действие тиаметоксама изучено и у млекопитающих. Так, в экспериментах с самцами крыс при введении разных доз тиаметоксама происходили изменения биохимических показателей крови: повышенные глюкозы, активности аланинаминотрансферазы и аспаратаминотрансферазы, гамма-глутамилтрансферазы, щелочной фосфатазы, мочевины и креатинина, по сравнению с контролем [17]. Гистопатологические изменения в тех же исследованиях были отмечены в печени, почках и головном мозге.

В обзоре по влиянию неоникотиноидов на природные водоёмы Канады отмечается,

что несмотря на низкую их концентрацию в воде, они обнаруживаются повсеместно, а их отдалённые последствия их действия на гидробионтов разных систематических групп оставляют ещё много вопросов о безопасности применения неоникотиноидов, в том числе тиаметоксама [18], которые передаются от одних организмов к другим по пищевым цепям и могут накапливаться в опасных количествах в конечных звеньях этих цепей, оказывая тем самым отдалённое воздействие на популяции гидробионтов и экосистемы в целом.

Заключение

При остром контакте с пестицидом (5 сут) карпы подвергаются наиболее негативному воздействию, что можно связать с проявлением стресса, вызванного действием тиаметоксама. При более длительном пребывании рыб в среде с токсикантом наблюдается адаптация, причём, чем дольше рыба контактирует с пестицидом, тем отчётливее выражена адаптация.

Содержание рыб в среде с 50 ПДК тиаметоксама вызывает более глубокие изменения в состоянии мембран эритроцитов, повышая их хрупкость, по сравнению с экспозицией рыб в среде, содержащей 20 ПДК пестицида.

Работа выполнена в рамках Госзадания АААА-А18-118012290371-3.

Литература

1. Giraev K.M., Bekshokov K.S., Ashurbekov N.A., Abdullaeva N.M., Israpov E.K., Gashimov I.S. Fluorescent spectral studies of the toxic effect of chlororganic pesticides on the biochemical parameters of synaptosomes // *Optics and Spectroscopy*. 2017. No. 4. P. 651–659.
2. Hart K.A., Pimental D. Environmental and economic cost of pesticide use // *Encyclopedia of Pest Management* / Ed. D. Pimental. New York: Marcel Dekker, 2002. P. 237–239.
3. Ковыршина Т.Б., Руднева И.И. Холинэстеразы рыб как биомаркёры загрязнения морской среды пестицидами // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2014. № 3. С. 38–42.
4. Бугаев Л.А., Войкина А.В., Валиуллин В.А., Смыр Т.М., Карпушина Ю.Э. Исследование накопления пестицидов в печени некоторых видов промысловых рыб Азовского моря в 2009–2011 гг. // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2012. № 81. С. 222–234.
5. Finnegan M.C., Baxter L.R., Maul J.D., Hanson M.L., Hoekstra P.F. Comprehensive characterization of the

acute and chronic toxicity of the neonicotinoid insecticide thiamethoxam to a suite of aquatic primary producers, invertebrates, and fish // *Environ Toxicol Chem*. 2017. V. 36. No. 10. P. 2838–2848.

6. Sheets L.P., Li A.A., Minnema D.J., Collier R.H., Creek M.R., Peffer R.C. A critical review of neonicotinoid insecticides for developmental neurotoxicity // *Crit Rev Toxicol*. 2016. V. 6. No. 2. P. 153–190.

7. Mesnage R., Biserni M., Genkova D., Wesolowski L., Antoniou M.N. Evaluation of neonicotinoid insecticides for oestrogenic, thyroidogenic and adipogenic activity reveals imidacloprid causes lipid accumulation // *J Appl Toxicol*. 2018. [Internet resource] <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jat.3651> (Accessed: 05.09.2018).

8. Baldissera M.D., Souza C.F., Seben D., Sippert L.R., Salbego J., Marchesan E., Zanella R., Baldisserotto B., Golombieski J.I. Gill bioenergetics dysfunction and oxidative damage induced by thiamethoxam exposure as relevant toxicological mechanisms in freshwater silver catfish *Rhamdia quelen* // *Sci Total Environ*. 2018. V. 636. P. 429–426.

9. Yan S.H., Wang J.H., Zhu L.S., Chen A.M., Wang J. Thiamethoxam induces oxidative stress and antioxidant response in zebrafish (*Danio rerio*) livers // *Environ Toxicol*. 2016. V. 31. No. 12. P. 2006–2015.

10. Clasen B., Loro V.L., Murussi C.R., Tiecher T.L., Moraes B., Zanella R. Bioaccumulation and oxidative stress caused by pesticides in *Cyprinus carpio* reared in a rice-fish system // *Sci Total Environ*. 2018. V. 626. P. 737–743.

11. Суюнова А.Б., Заболотных М.В. Исследование мышечной ткани рыб, отловленных в Каспийском море, на содержание хлорорганических пестицидов // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2016. № 2. С. 194–199.

12. Лапирова Т.Б. Реакция иммунофизиологических показателей молоди сибирского осетра (*Acipenser baerii* Brandt) на действие перметрина // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2011. № 4. С. 124–135.

13. Андреева А.М., Рябцева И.П., Руднева И.И., Шайда В.Г., Ламаш Н.Е., Дмитриева А.Э. Сравнительный анализ осмотической резистентности эритроцитов у различных по экологии teleostei // *Biological Communications*. 2013. № 4. С. 3–13.

14. Абдуллаева Н.М., Чалабов Ш.И. Способ определения кислотной устойчивости эритроцитов хладнокровных животных. Патент России 2571081 С1. Заявка: 2014136832/15, 10.09.2014. Дата публикации: 20.12.2015. Бюлл. 35.

15. Костюк К.В., Грубинко В.В. Роль мембранных АТФ-аз в адаптации гидробионтов к факторам водной среды // *Гидробиологический журнал*. 2010. Т. 46. № 4. С. 49–62.

16. Рабаданова А.И., Бамматмурзаева Д.М., Гасаева Р.М. Кислотная и осмотическая устойчивость эри-

троцитов периферической крови человека при действии стрессовых факторов различного генеза // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. [Электронный ресурс] <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=11571> (Дата обращения 15.07.2018).

References

- Giraev K.M., Bekshokov K.S., Ashurbekov N.A., Abdullaeva N.M., Israpov E.K., Gashimov I.S. Fluorescent spectral studies of the toxic effect of chlororganic pesticides on the biochemical parameters of synaptosomes // *Optics and Spectroscopy*. 2017. No. 4. P. 651–659. doi: 10.1134/S0030400X17030080
- Hart K.A., Pimental D. Environmental and economic cost of pesticide use // *Encyclopedia of Pest Management* / Ed. D. Pimental. New York: Marcel Dekker, 2002. P. 237–239. doi: 10.2307/1311994
- Kovyrshina T.B., Rudneva I.I. Cholinesterases of fish as biomarkers of marine pollution by pesticides // *Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal*. 2014. No. 3. P. 38–42 (in Russian).
- Bugaev L.A., Voykina A.V., Valiullin V.A., Smyr T.M., Karpushina Yu.E. Investigation of accumulation of pesticides in the liver of some species of commercial fish of the Azov Sea in 2009–2011 // *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2012. No. 81. P. 222–234 (in Russian).
- Finnegan M.C., Baxter L.R., Maul J.D., Hanson M.L., Hoekstra P.F. Comprehensive characterization of the acute and chronic toxicity of the neonicotinoid insecticide thiamethoxam to a suite of aquatic primary producers, invertebrates, and fish // *Environ Toxicol Chem*. 2017. V. 36. No. 10. P. 2838–2848. doi: 10.1002/etc.3846
- Sheets L.P., Li A.A., Minnema D.J., Collier R.H., Creek M.R., Peffer R.C. A critical review of neonicotinoid insecticides for developmental neurotoxicity // *Crit Rev Toxicol*. 2016. V. 6. No. 2. P. 153–190. doi: 10.3109/10408444.2015.1090948
- Mesnager R., Biserni M., Genkova D., Wesolowski L., Antoniou M.N. Evaluation of neonicotinoid insecticides for oestrogenic, thyroidogenic and adipogenic activity reveals imidacloprid causes lipid accumulation // *J Appl Toxicol*. 2018. [Internet resource] <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jat.3651> (Accessed: 05.09.2018). doi: 10.1002/jat.3651
- Baldissera M.D., Souza C.F., Seben D., Sippert L.R., Salbego J., Marchesan E., Zanella R., Baldisserotto B., Golombieski J.I. Gill bioenergetics dysfunction and oxidative damage induced by thiamethoxam exposure as relevant toxicological mechanisms in freshwater silver catfish *Rhamdia quelen* // *Sci Total Environ*. 2018. V. 636. P. 429–426. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.292
- Yan S.H., Wang J.H., Zhu L.S., Chen A.M., Wang J. Thiamethoxam induces oxidative stress and antioxidant response in zebrafish (*Danio rerio*) livers // *Environ Toxicol*. 2016. V. 31. No. 12. P. 2006–2015. doi: 10.1002/tox.22201
- Clasen B., Loro V.L., Murussi C.R., Tiecher T.L., Moraes B., Zanella R. Bioaccumulation and oxidative stress caused by pesticides in *Cyprinus carpio* reared in a rice-fish system // *Sci Total Environ*. 2018. V. 626. P. 737–743. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.154
- Suyunova A.B., Zabolotnykh M.V. Investigation of the muscle tissue of fish caught in the Caspian Sea for the maintenance of organochlorine pesticides // *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. No. 2. P. 194–199 (in Russian).
- Andreeva A.M., Ryabtseva I.P., Rudneva I.I., Shayda V.G., Lamash N.E., Dmitrieva A.E. Comparative analysis of osmotic resistance of erythrocytes in various teleostei ecology // *Biological Communications*. 2013. No. 4. P. 3–13 (in Russian).
- Lapirova T.B. The reaction of immunophysiological indices of young Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt) to the action of permethrin // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2011. No. 4. P. 124–135 (in Russian).
- Abdullaeva N.M., Chalabov Sh.I. Method for determining the acid resistance of erythrocytes of cold-blooded animals. Patent RU 2571081 C1. Application: 2014136832/15, 10.09.2014. Date of publication: 20.12.2015. Bull. 35 (in Russian).
- Kostyuk K.V., Grubinko V.V. The role of membrane ATPases in the adaptation of hydrobionts to aquatic factors // *Gidrobiologicheskii zhurnal*. 2010. V. 46. No. 4. P. 49–62 (in Russian).
- Rabadanova A.I., Bamatmurzaeva D.M., Gasasaeva R.M. Acid and osmotic resistance of red blood cells of human peripheral blood under the action of stress factors of different genesis // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2013. No. 6. [Internet resource] <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=11571> (Accessed: 15.07.2018) (in Russian).