



Биология и экология гидробионтов

УДК 595.3+504.4.054:665.6

https://doi.org/10.47921/2619-1024_2024_7_1_18

EDN: MDRAIO



ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА НЕКТОБЕНТИЧЕСКИХ РАКООБРАЗНЫХ

А. Г. Тригуб^{1*}, М. В. Медянкина¹, Т. В. Дрозденко², Т. П. Хайрулина¹

¹Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского
(Первый казачий университет), Москва 119049, Россия

²Псковский государственный университет (ПсковГУ), Псков 180000, Россия

*E-mail: morflot931@gmail.com

Аннотация

Введение. Поступление загрязняющих веществ в водоемы, как непосредственное, так и с площади водосбора, постоянно увеличивается. Это создает возрастающую угрозу водным экосистемам и человеку как потребителю воды и водных биоресурсов, что обуславливает **актуальность** регламентации загрязнения водной среды. **Цель** данной работы — оценить влияние различных концентраций некоторых загрязняющих веществ разной природы на выживаемость амфипод *Hyalella azteca* в условиях хронического эксперимента. **Методы.** Исследования проводили по стандартным токсикологическим методикам. **Результаты.** В работе представлены результаты влияния загрязняющих веществ разной природы (гидрофосфата натрия, сульфата натрия, цинкового комплекса 2-Фосфоно-1,2,4-бутантрикарбоновой кислоты, диметилсульфида) на ракообразных *Hyalella azteca* Saussure, 1858. *Hyalella azteca* широко применяются в биотестировании, однако в системе рыбохозяйственного нормирования в России данные ракообразные не используются. Опытным путем были установлены максимально допустимые и пороговые для *Hyalella azteca* концентрации исследуемых веществ в водной среде. Максимально допустимая концентрация (МДК) гидрофосфата натрия в пересчете на фосфор составила 1,0 мг/л, пороговая — 2,5 мг/л; МДК сульфата натрия в пересчете на сульфат-анион составила 750 мг/л, пороговая — более 750 мг/л; МДК цинкового комплекса 2-Фосфоно-1,2,4-бутантрикарбоновой кислоты — 10 мг/л, пороговая — 100 мг/л; МДК диметилсульфида — 10 мг/л, пороговая — 20 мг/л. **Выводы.** Амфиподы *H. azteca* умеренно чувствительны к загрязняющим веществам. Наиболее токсичным веществом для организмов *H. azteca* из всех исследованных оказался гидрофосфат натрия.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, водная среда, максимально допустимая концентрация, пороговая концентрация, ракообразные

THE EFFECT OF CERTAIN POLLUTANTS ON NECTOBENTHIC CRUSTACEANS

A. G. Trigub^{1*}, M. V. Medyankina¹, T. V. Drozdenko², T. P. Khayrulina¹

¹K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management
(First Cossack University), Moscow 119049, Russia

²Pskov State University (PskovSU), Pskov 180000, Russia

*E-mail: morflot931@gmail.com

Abstract

Background. Ingress of pollutants in water bodies, both direct and from the catchment area, is constantly increasing. It creates an escalating threat to aquatic ecosystems and humans as consumers of water and aquatic biological resources, which contributes to the **relevance** of the monitoring and regulation of water pollution. This work is **aimed** at the evaluation of the effect of various toxic substances and pollutants on the survival of the amphipod *Hyaella azteca* in a chronic experiment. **Methods.** This study has been carried out according to the standard toxicological methods. **Results.** This paper presents the data on the influence of pollutants of various nature (sodium hydrogen phosphate, sodium sulfate, zinc complex of 2-Phosphono-1,2,4-butanetricarboxylic acid, dimethyl sulfide) on the *Hyaella azteca* Saussure, 1858 crustaceans. *Hyaella azteca* have found a wide application in biotesting; however, these crustaceans are not used in the system of fisheries regulation in Russia. The maximum allowable and threshold concentrations of the investigated substances in the aquatic environment have been established for *Hyaella azteca* using the experimental approach. The maximum allowable concentration (MAC) of sodium hydrogen phosphate in the phosphorus equivalent was 1.0 mg/L, its threshold concentration was 2.5 mg/L; the MAC of sodium sulfate in the sulfate anion equivalent was 750 mg/L, its threshold concentration was more than 750 mg/L; the MAC of the zinc complex of 2-Phosphono-1, 2,4-butanetricarboxylic acid was 10 mg/L, its threshold concentration was 100 mg/L; the MAC of dimethyl sulfide was 10 mg/L, its threshold concentration was 20 mg/L. **Conclusion.** The amphipods *H. azteca* are moderately sensitive to pollutants. Among all investigated substances, the most toxic for *H. azteca* was sodium hydrogen phosphate.

Keywords: pollutants, aquatic environment, maximum allowable concentration, threshold concentration, crustaceans

ВВЕДЕНИЕ

Регламентация загрязнения водной среды не теряет своей актуальности, поскольку постоянно увеличивается поступление загрязняющих веществ с площади водосбора или при их непосредственном попадании в водоем, что создает возрастающую угрозу водным экосистемам и человеку как потребителю воды и водных биоресурсов [1].

Нектобентические ракообразные *Hyaella azteca* Saussure, 1858 используются в биотестировании достаточно широко [1–6]. Данный тест-объект введен в Международный стандарт (ISO 16303) «Качество воды. Определение токсичности осадений пресной воды с использованием *Hyaella azteca*» (2013). Между тем, исследуемые ракообразные не используются в системе рыбохозяйственного нормирования в России согласно «Методическим указаниям по разработке нормативов

качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в т. ч. нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения», утвержденным Приказом Росрыболовства № 695 от 04.08.09.

Цель работы — оценить влияние различных концентраций некоторых загрязняющих веществ разной природы на выживаемость амфипод *Hyaella azteca* в условиях хронического эксперимента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве тест-организмов были выбраны нектобентические ракообразные *Hyaella azteca*. Организмы характеризуются простотой культивирования в лабораторных условиях и относительно высокой чувствительностью к загрязняющим веществам. *Hyaella azteca* обитает в чистых

прудах, озерах и прибрежных зарослях высшей водной растительности [5]. В лабораторных условиях культуру амфипод поддерживали в непроточных (10 дм³) аквариумах с пресной водой при температуре 20±2 °С и продолжительности светового дня 12 ч. Воду обновляли на 1/3 один раз в неделю. В качестве субстрата использовали аквариумные растения. Кормили преимущественно сухими хлопьями для аквариумных рыб.

Для опытов выращивали синхронизированную культуру амфипод. Для этого в отдельный аквариум отсаживали 20 самок с выводковыми камерами с зародышами приблизительно одной стадии развития. Взрослые самки способны производить до 50 новорожденных особей. При каждом спаривании самка линяет и освобождается от молодого помета из предыдущего спаривания. Полученную молодь амфипод в возрасте 1–3 сут. использовали для проведения экспериментов.

До начала работ рачков содержали в течение суток в аквариумах емкостью 1 л с чистой водой и слабой аэрацией. Тестирование осуществляли в соответствии с общепринятыми методиками [6–8] и с учетом Методических требований по разработке ПДК (2009), поскольку в схеме установления нормативов ПДК присутствие представителей бентоса является обязательным. Все эксперименты проводили на отстоянной (7 сут.) проаэрированной и отфильтрованной (при помощи биофильтров) водопроводной воде при температуре 20±2 °С и искусственном освещении с продолжительностью светового дня 12 часов. В ходе исследований регистрировали выживаемость ракообразных *Hyalella azteca* в течение 30 суток. Предварительно проводились краткосрочные (острые) токсикологические опыты продолжительностью 96 ч с целью установления диапазона реагирования тест-организма на токсикант и дальнейшего уточнения диапазона концентраций для хронических экспериментов.

В острых опытах рачков не кормили, в хронических кормили один раз в трое суток. Опыт ставили в чашках Петри диаметром 90 мм в объеме воды 0,04 л с периодичной заменой среды с учетом показателей стабильности исследуемых веществ. Эксперименты проводили в непроточных условиях в 3-кратной повторности. В ходе исследований поддерживали оптимальные условия среды: температуру воды 20±2 °С, рН=7,6–8,0, содержание растворенного кислорода 6,2–7,6 мг/л. Контролем служила вода без внесения загрязняющих веществ.

Данные представляли в виде средних значений и их ошибок (±). Результаты обрабатывали статистически при уровне значимости $p=0,05$. В условиях хронического эксперимента длительностью 30 суток оценивали влияние различных концентраций гидрофосфата натрия, сульфата натрия, цинкового комплекса 2-Фосфоно-1,2,4-бутантрикарбонной кислоты, диметилсульфида.

Фосфор представляет собой важный биогенный элемент, лимитирующий развитие первичных продуцентов водоемов. Соединения минерального фосфора попадают в природные воды в результате выветривания и растворения пород, содержащих ортофосфаты, поступают с поверхности водосбора вместе с удобрениями и синтетическими моющими средствами, а также образуются при биологической переработке растительных и животных остатков [1]. Растворы и эмульсии фосфора более токсичны, чем суспензии и коллоиды. Показано, что при экспозиции 24 ч летальные концентрации эмульсии и раствора фосфатов для сазана находятся в пределах 0,1–0,18 мг/л, суспензии и коллоида — около 50 мг/л [9].

В пресных водах содержание сульфатов колеблется от 5–10 до 60 мг/л, в дождевых — от 1 до 10 мг/л. Для водных организмов сульфаты менее токсичны по сравнению с другими соединениями серы. Смертельные концентрации сульфатов калия, натрия, магния и кальция при экспозиции 4 сут. колеблются от 800 до 3200 мг/л. Однако стоки сульфатного производства токсичны для рыб разного возраста и дафний даже при разведении в 6–7 тысяч раз [10]. В изученном диапазоне концентраций сульфата натрия [11] не было установлено достоверных отличий оптической плотности клеток водорослей относительно контроля, а его максимально допустимая концентрация составила 500,0 мг/л. Для сульфата калия аналогичное значение составило 1000,0 мг/л. По результатам исследований [12, 13] установлена ПДК сульфат-аниона в воде пресноводных объектов рыбохозяйственного значения — 300 мг/л.

Диметилсульфид выделяется водорослями (*Oedogonium*, *Ulothrix*) в ходе процессов жизнедеятельности. Также диметилсульфид может поступать в поверхностные воды со стоками предприятий целлюлозной промышленности (0,05–0,08 мг/л). Диметилсульфид не сохраняется в воде долго (стабилен от 3 до 15 суток); при участии водорослей и микроорганизмов он частично под-

вергается превращениям, но в основном улетучивается в атмосферу [1]. Установлено, что в концентрациях 0,001–0,01 мг/л диметилсульфид обладает слабой мутагенной активностью [14]. ПДК_{сан} вещества составляет 0,01 мг/л (лимитирующий показатель вредности — органолептический) [3].

Цинковый комплекс 2-Фосфоно-1,2,4-бутантрикарбоновой кислоты используется как ингибитор образования отложений (накипи) для открытых и закрытых систем теплоснабжения, систем охлаждения промышленных предприятий, ТЭЦ, ГРЭС, АЭС. Представляет собой жидкость от бесцветной до светло-желтой, плотность при температуре 20 °С составляет от 1,05 до 1,15 г/см³, рН — 6,0–9,0. Нестабилен в водной среде, гидролизуется.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика выживаемости ракообразных *Hyalella azteca* при различных концентрациях гидрофосфата натрия (в пересчете на Р) представлена на рис. 1.

На протяжении эксперимента гибель тест-объектов почти при всех исследованных концентрациях наблюдалась на уровне контроля. Максимально допустимая концентрация гидрофосфата натрия (в пересчете на Р) по показателю выживаемости ракообразных составила 1,0 мг/л, пороговая концентрация — 2,5 мг/л.

В остром опыте была оценена острая токсичность сульфата натрия (в пересчете на сульфат-анион) в концентрациях 100,0–1000,0 мг/л (табл. 1).

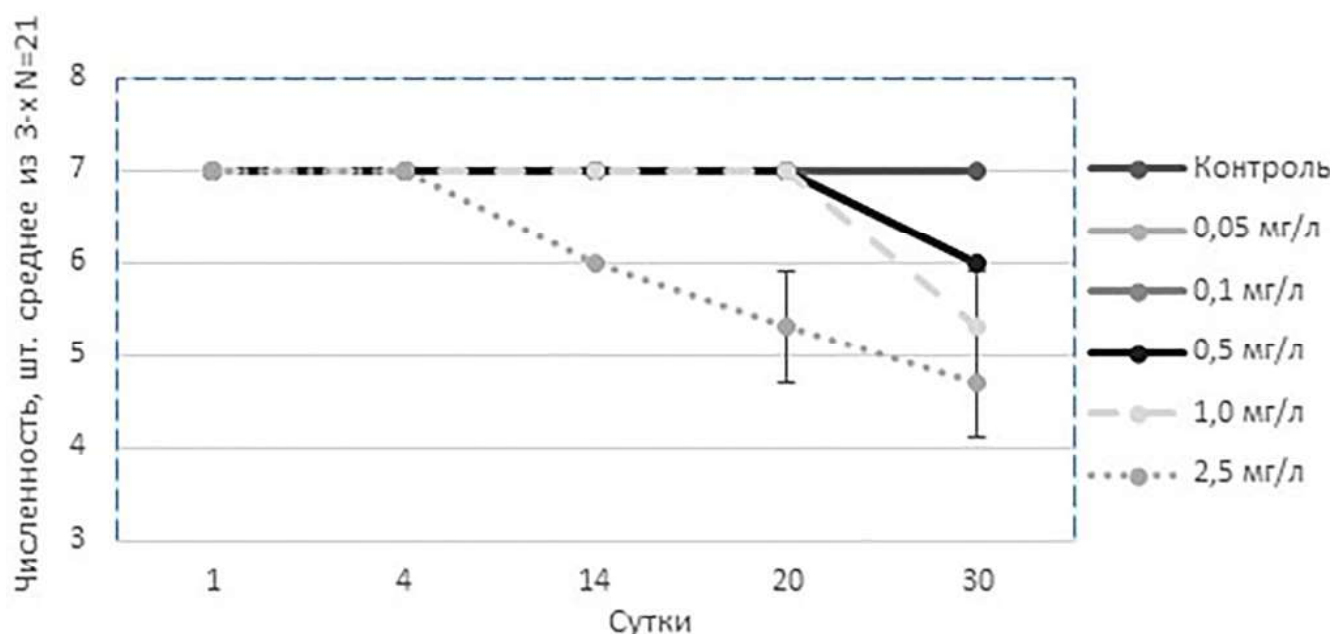


Рис. 1. Динамика выживаемости *Hyalella azteca* при различных концентрациях гидрофосфата натрия (в пересчете на Р)

Fig. 1. Dynamics of *Hyalella azteca* survival rate at various concentrations of sodium hydrogen phosphate (in P equivalent)

Таблица 1. Результаты острых опытов (96 ч) на *Hyalella azteca* при добавлении сульфат-аниона

Table 1. Results of acute experiments (96 h) on *Hyalella azteca* upon the introduction of sulfate anion

Концентрация, мг/л Concentration, mg/L	Гибель <i>H. azteca</i> , % <i>H. azteca</i> mortality rate, %	Показатель токсичности, мг/л Toxicity index, mg/L
100,0	0,0	ЛК ₅₀ 96>1000,0 LC ₅₀ 96>1000.0
250,0	0,0	
500,0	0,0	
750,0	0,0	
1000,0	0,0	

Величина полулетальной концентрации составила $>1000,0$ мг/л.

Динамика выживаемости ракообразных *Hyalella azteca* при различных концентрациях сульфат-аниона в хроническом эксперименте представлена в табл. 2.

По результатам эксперимента не установлены достоверные отличия от контроля по выживаемости *Hyalella azteca* при хроническом воздействии

сульфат-аниона во всех исследованных концентрациях. Таким образом, максимально допустимая концентрация сульфат-аниона по показателю выживаемости зообентоса составила $750,0$ мг/л, пороговая концентрация — более $750,0$ мг/л.

Динамика выживаемости ракообразных *Hyalella azteca* при различных концентрациях цинкового комплекса 2-Фосфоно-1,2,4-бутантрикарбоновой кислоты представлена на рис. 2.

Таблица 2. Динамика выживаемости *Hyalella azteca* при хроническом воздействии сульфат-аниона, объем выборки — 30 шт.

Table 2. Dynamics of *Hyalella azteca* survival rate under chronic exposure to sulfate anion, sample size 30 ind.

Концентрация, мг/л Concentration, mg/L	Экспозиция, сутки Exposure, day							
	1		10		20		30	
	%	Td	%	Td	%	Td	%	Td
Контроль Control group	100	–	100	–	100	–	100	–
100,0	100	–	100	–	92,9	0,7	100	–
250,0	100	–	100	–	107,1	2,0	100	–
500,0	100	–	100	–	107,1	1,0	107,7	0,7
750,0	100	–	86,7	1,0	100	0,4	61,5	2,0

Примечание: Критерий Стьюдента (Td) — биометрический показатель достоверности разницы (Td) между средними значениями двух сравниваемых между собой групп (M_1 и M_2) по какому-либо признаку при $p \leq 0,05$

Note: Student's t-test (Td) is a biometric indicator of the statistical significance of the difference (Td) between the average values of two groups (M_1 and M_2) compared to each other based on any criterion at $p \leq 0.05$

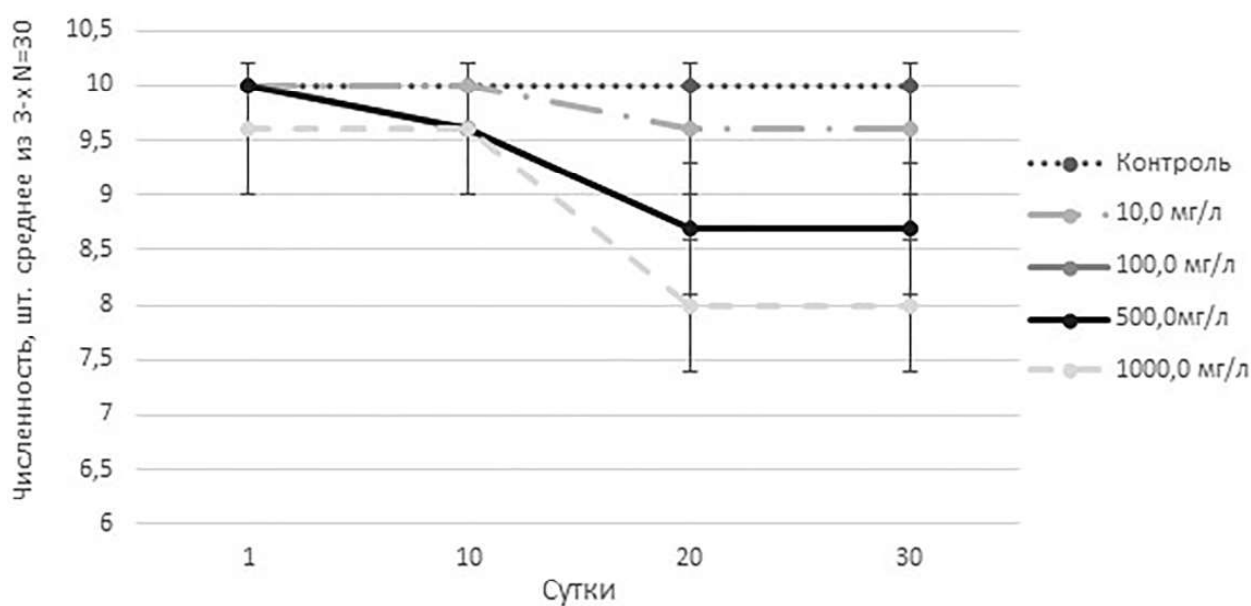


Рис. 2. Динамика выживаемости *Hyalella azteca* при хроническом воздействии цинкового комплекса 2-Фосфоно-1,2,4-бутантрикарбоновой кислоты

Fig. 2. Dynamics of *Hyalella azteca* survival rate under chronic exposure to the zinc complex of 2-Phosphono-1,2,4-butanetricarboxylic acid

На протяжении эксперимента гибель рачков наблюдали при концентрациях препарата 100 мг/л и выше; отклонения выживаемости от контроля были статистически значимы на 20-е сутки опыта. Таким образом, максимально допустимая концентрация цинкового комплекса 2-Фосфоно-1,2,4-бутантрикарбоновой кислоты для показателя выживаемости ракообразных составила 10,0 мг/л, пороговая концентрация — 100,0 мг/л.

Цинковый комплекс 2-Фосфоно-1,2,4-бутантрикарбоновой кислоты имеет свойство распадаться на отдельные компоненты в связи с его нестабильностью в водной среде. Поступая в воду, он быстро гидролизуется, вследствие чего происходит воздействие на тест-организмы не целого комплекса, а

отдельных его компонентов. Потенциально токсичным компонентом может являться ион цинка, норматив ПДК для которого составляет 0,01 мг/л, при этом чувствительным звеном является икра рыб. Воздействие цинкового комплекса 2-Фосфоно-1,2,4-бутантрикарбоновой кислоты целесообразно дополнительно изучить на других тест-объектах.

В остром опыте была оценена токсичность диметилсульфида в диапазоне концентраций 0,01–100,0 мг/л (табл. 3). Величина полуметальной концентрации составила 63,1 мг/л.

Динамика выживаемости ракообразных *Hyalella azteca* при различных концентрациях диметилсульфида представлена на рис. 3.

Таблица 3. Результаты острых опытов (96 ч) на *Hyalella azteca* при различных концентрациях диметилсульфида

Table 3. Results of acute experiments (96 h) on *Hyalella azteca* at various concentrations of dimethyl sulfide

Концентрация, мг/л Concentration, mg/L	Гибель <i>H. azteca</i> , % <i>H. azteca</i> mortality rate, %	Показатель токсичности, мг/л Toxicity index, mg/L
0,01	0,0	ЛК ₅₀ 96=63,1 LC ₅₀ 96=63.1
0,5	0,0	
5,0	0,0	
10,0	0,0	
25,0	10,0	
50,0	40,0	
100,0	85,0	

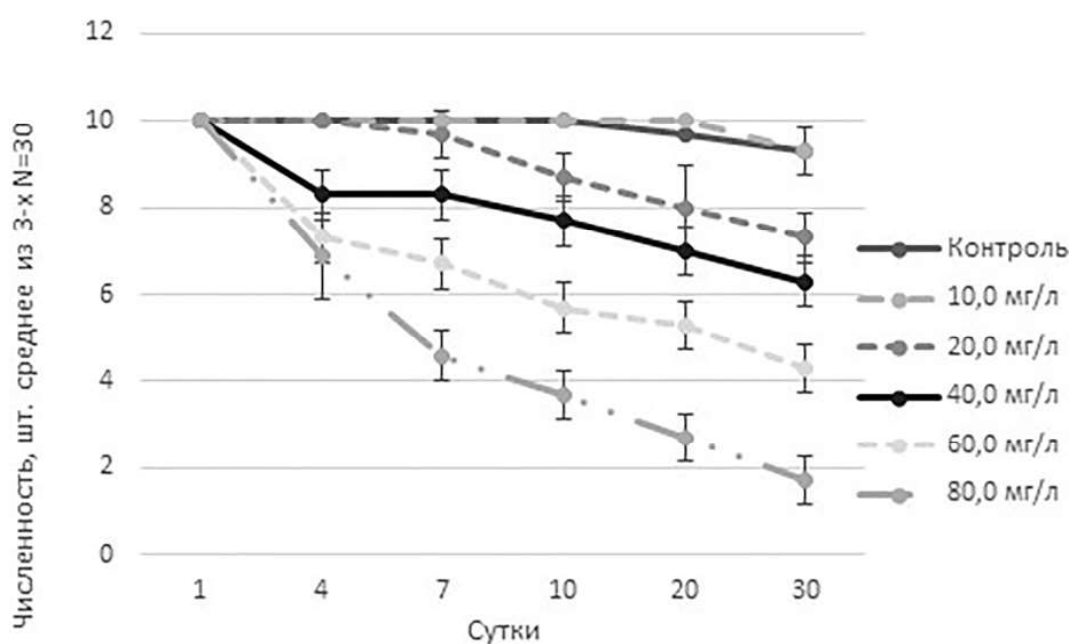


Рис. 3. Динамика выживаемости *Hyalella azteca* при хроническом воздействии диметилсульфида

Fig. 3. Dynamics of *Hyalella azteca* survival rate under chronic exposure to dimethyl sulfide

По результатам эксперимента установлены достоверные отличия от контроля по выживаемости *Hyalella azteca* при хроническом воздействии диметилсульфида в концентрациях 20 мг/л и выше. Таким образом, максимально допустимая концентрация диметилсульфида по показателю выживаемости ракообразных составила 10,0 мг/л, пороговая концентрация — 20,0 мг/л.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На протяжении эксперимента гибель тест-объектов почти при всех исследованных концентрациях (0,05, 0,1, 0,5 и 1,0 мг/л) наблюдалась на уровне контроля. Максимально допустимая (недействующая) концентрация гидрофосфата натрия (в пересчете на P) по показателю выживаемости ракообразных составила 1,0 мг/л, пороговая концентрация — 2,5 мг/л. Не были установлены достоверные отличия от контроля по выживаемости *Hyalella azteca* при хроническом воздействии сульфат-аниона во всех исследованных концентрациях от 100 до 1000 мг/л. Максимально допустимая концентрация сульфат-аниона по показателю выживаемости зообентоса составила 750,0 мг/л, пороговая концентрация — более 750,0 мг/л. На протяжении эксперимента гибель рачков наблюдали при концентрациях цинкового комплекса 2-Фосфоно-1,2,4-бутантрикарбоновой кислоты 100 мг/л и выше, отклонения выживаемости от контроля были статистически значимы на 20-е сутки опыта. Максимально допустимая концентрация цинкового комплекса 2-Фосфоно-1,2,4-бутантрикарбоновой кислоты для показателя выживаемости ракообразных составила 10,0 мг/л, пороговая концентрация — 100,0 мг/л. Установлены достоверные отличия от контроля по выживаемости *Hyalella azteca* при хроническом воздействии диметилсульфида в концентрациях 20 мг/л и выше. Максимально допустимая концентрация диметилсульфида по показателю выживаемости ракообразных составила 10,0 мг/л, пороговая концентрация — 20,0 мг/л. Из всех исследованных веществ наиболее токсичным для организмов *H. azteca* оказался гидрофосфат натрия.

Таким образом, *H. azteca* является умеренно чувствительным тест-организмом и может применяться в качестве объекта при разработке нормативов ПДК_{рх}. Простота в содержании и разведении рачков *H. azteca* делает их удобными для лабораторных исследований и минимизирует риски

получения некорректных результатов, возникающих из-за прихотливости к условиям окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Томилина И.И., Михайлова Л.В., Рыбина Г.Е., Акатьева Т.Г. Влияние загрязненных нефтепродуктами донных отложений на планктонных и бентосных ракообразных. *Токсикологический вестник*. 2009. № 2 (95): 28–32.
2. Рыбина Г.Е., Михайлова Л.В., Томилина И.И. Оценка токсичности донных отложений, почв и буровых шламов с помощью амфиоды *Hyalella azteca* Saussure. *Вестник рыбохозяйственной науки*. 2019. Т. 6, № 2 (22): 48–63.
3. Сборник санитарно-гигиенических нормативов и методов контроля вредных веществ в объектах окружающей природной среды. М.: Искусство, 1991. 370 с.
4. Borgmann U., Ralph K.M., Norwood W.P. Toxicity test procedures for *Hyalella azteca*, and chronic toxicity of cadmium and pentachlorophenol to *H. azteca*, *Gammarus fasciatus*, and *Daphnia magna*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 1989. Vol. 18, no. 2: 756–764. <https://doi.org/10.1007/BF01225013>.
5. Лукьянова О.Н. Молекулярные биомаркеры. Владивосток: Изд-во Дальневосточной государственной академии экономики и управления, 2001. 196 с.
6. Ingersoll C.G., Nelson M.K. Testing sediment toxicity with *Hyalella azteca* (Amphipoda) and *Chironomus riparius* (Diptera). *Aquatic toxicology and risk assessment. Proceedings of the 13th Symposium (Atlanta, 16–18 April, 1989)*. Philadelphia: American Society for Testing and Materials Publ., 1990: 93–109. <https://doi.org/10.1520/STP20101S>.
7. Ingersoll C.G., Brunson E.L., Dwyer F.J., Hardesty D.K., Kemble N.E. Use of sublethal endpoints in sediment toxicity test with the amphipod *Hyalella azteca*. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1998. Vol. 17, issue 8: 1508–1523. <https://doi.org/10.1002/etc.5620170811>.
8. Mount D.I., Norberg T.J. A seven-day life-cycle cladoceran toxicity test. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1984. Vol. 3, issue 3: 425–434. <https://doi.org/10.1002/etc.5620030307>.
9. Болезни рыб : справочник. 2-е изд. / под ред. В.С. Осетрова. М.: Агропромиздат, 1989. 288 с.
10. Филенко О.Ф., Михеева И.В. Основы водной токсикологии : учеб. пособие. М.: Колос, 2007. 144 с.
11. Денисюк А.В., Тригуб А.Г., Житкова А.А., Пачулия В.Б. Воздействие сульфатов на зеленые одноклеточные водоросли *Scenedesmus quadricauda*. *Региональные проблемы устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях цифро-*

вой трансформации : матер. Всерос. науч.-практ. конф. (г. Пенза, 25–26 апреля 2023 г.). Пенза: Изд-во Пензенского государственного аграрного университета, 2023: 343–346.

12. Медянкина М.В., Тригуб А.Г., Глебова И.А., Салахов Е.М. Пересмотр ПДК сульфатов для воды водных объектов рыбохозяйственного значения. Часть 1. Влияние на водные организмы. *Контроль качества продукции*. 2022. № 5: 25–29.
 13. Медянкина М.В., Тригуб А.Г., Хазанова К.П., Акулова А.Ю. Разработка (пересмотр) норматива ПДК сульфатов для воды пресноводных объектов рыбохозяйственного значения. Часть 2. Влияние на состояние водной среды. *Контроль качества продукции*. 2022. № 6: 27–30.
 14. Бейм А.М., Ошаров А.Б. Эколого-токсикологические критерии регламентирования метилсернистых соединений в сточных водах сульфатно-целлюлозного производства. М.: Изд-во Всесоюзного научно-исследовательского и проектного института экономики, организации управления производством и информации по лесной, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности, 1984. 36 с.
- ## REFERENCES
1. Tomilina I.I., Mikhaylova L.V., Rybina G.E., Akatyeva T.G. Vliyanie zagryaznennykh nefteproduktami donnykh otlozheniy na planktonnykh i bentosnykh rakooobraznykh [Impact of ground sediments polluted by petroleum products on plankton and benthonic crustaceans]. *Toksikologicheskii vestnik [Toxicological Review]*. 2009. No. 2 (95): 28–32. (In Russian).
 2. Rybina G.E., Mikhaylova L.V., Tomilina I.I. Otsenka toksichnosti donnykh otlozheniy, pochv i burovnykh shlamov s pomoshch'yu amfipody *Hyalella azteca* Saussure [Evaluation of toxicity of the bottom sediments, soils and drilled cuttings with *Hyalella azteca* Saussure amphipod]. *Vestnik rybokhozyaystvennoy nauki [Bulletin of Fisheries Science]*. 2019. Vol. 6, no. 2 (22): 48–63. (In Russian).
 3. Sbornik sanitarno-gigienicheskikh normativov i metodov kontrolya vrednykh veshchestv v ob"ektakh okruzhayushchey prirodnoy sredy [Compendium of sanitary regulations and methods of controlling harmful substances in the natural environment components]. Moscow: Iskustvo [Art], 1991. 370 p. (In Russian).
 4. Borgmann U., Ralph K.M., Norwood W.P. Toxicity test procedures for *Hyalella azteca*, and chronic toxicity of cadmium and pentachlorophenol to *H. azteca*, *Gammarus fasciatus*, and *Daphnia magna*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 1989. Vol. 18, no. 2: 756–764. <https://doi.org/10.1007/BF01225013>.
 5. Lukyanova O.N. Molekulyarnye biomarkery [Molecular biomarkers]. Vladivostok: Dal'nevostochnaya gosudarstvennaya akademiya ekonomiki i upravleniya [Far Eastern State Academy of Economics and Management] Publ., 2001. 196 p. (In Russian).
 6. Ingersoll C.G., Nelson M.K. Testing sediment toxicity with *Hyalella azteca* (Amphipoda) and *Chironomus riparius* (Diptera). In: *Aquatic toxicology and risk assessment. Proceedings of the 13th Symposium (Atlanta, 16–18 April, 1989)*. Philadelphia: American Society for Testing and Materials Publ., 1990: 93–109. <https://doi.org/10.1520/STP20101S>.
 7. Ingersoll C.G., Brunson E.L., Dwyer F.J., Hardesty D.K., Kemble N.E. Use of sublethal endpoints in sediment toxicity test with the amphipod *Hyalella azteca*. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1998. Vol. 17, issue 8: 1508–1523. <https://doi.org/10.1002/etc.5620170811>.
 8. Mount D.I., Norberg T.J. A seven-day life-cycle cladoceran toxicity test. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1984. Vol. 3, issue 3: 425–434. <https://doi.org/10.1002/etc.5620030307>.
 9. Bolezni ryb : spravochnik. 2-e izd. [Fish diseases. Guidebook. 2nd ed.]. V.S. Osetrov (ed.). Moscow: Agropromizdat [Agricultural Industry Publishing House], 1989. 288 p. (In Russian).
 10. Filenko O.F., Mikheeva I.V. Osnovy vodnoy toksikologii : uchebnoe posobie [Fundamentals of aquatic toxicology. Study guide]. Moscow: Kolos [Spike], 2007. 144 p. (In Russian).
 11. Denisuk A.V., Trigub A.G., Zhitkova A.A., Pachu-liya V.B. Vozdeystvie sulfatov na zelenye odnokletochnye vodorosli *Scenedesmus quadricauda* [Effects of sulphates on green single-celled *Scenedesmus quadricauda*]. In: *Regional'nye problemy ustoychivogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa v usloviyakh tsifrovoy transformatsii : materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Penza, 25–26 aprelya 2023 g.) [Regional problems of sustainable development of the agro-industrial complex in the conditions of digital transformation. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Penza, 25–26 April, 2023)]*. Penza: Penzenskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet [Penza State Agrarian University] Publ., 2023: 343–346. (In Russian).
 12. Medyankina M.V., Trigub A.G., Glebova I.A., Sалахов Е.М. Пересмотр ПДК сульфатов для воды водных объектов рыбохозяйственного значения. Часть 1. Влияние на водные организмы [Revision of sulfate MACs for the water in the water bodies of fisheries importance. Part 1. Impact on aquatic organisms]. *Kontrol' kachestva produktsii [Production Quality Control]*. 2022. No. 5: 25–29. (In Russian).
 13. Medyankina M.V., Trigub A.G., Khazanova K.P., Aкулова А.Ю. Разработка (пересмотр) норматива ПДК сульфатов для воды пресноводных объектов рыбохозяйственного значения. Часть 2. Влияние на состояние водной среды [Development (revision) of a regulatory standard on sulfate MACs for the

water in the water bodies of fisheries importance. Part 2. Impact on aquatic environment]. *Kontrol' kachestva produktsii* [Production Quality Control]. 2022. No. 6: 27–30. (In Russian).

14. Beym A.M., Osharov A.B. Ekologo-toksikologicheskie kriterii reglamentirovaniya metilsernistykh soedineniy v stochnykh vodakh sul'fatno-tsellyuloznogo proizvodstva [Ecological and toxicological criteria for regulation of methylated sulfur compounds in the

wastewater of a cellulose sulfate production facility]. Moscow: Vsesoyuznyy nauchno-issledovatel'skiy i proektnyy institut ekonomiki, organizatsii upravleniya proizvodstvom i informatsii po lesnoy, tsellyulozno-bumazhnoy i derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti [All-Union Research and Design Institute of Economics, Production Management and Information on the Forestry, Pulp and Paper Industry and Woodworking Industry] Publ., 1984. 36 p. (In Russian).

Для цитирования: Тригуб А.Г., Медянкина М.В., Дрозденко Т.В., Хайрулина Т.П. Влияние некоторых загрязняющих веществ на нектобентических ракообразных. Водные биоресурсы и среда обитания. 2024. Т. 7, № 1: 18–26.

Об авторах:

Тригуб Анатолий Григорьевич, старший преподаватель ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского» (Первый казачий университет) (119049, г. Москва, ул. Шаболовская, 14, стр. 9), ORCID 0000-0003-0953-5389, morflot931@gmail.com

Медянкина Мария Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и природопользования ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского» (Первый казачий университет) (119049, г. Москва, ул. Шаболовская, 14, стр. 9), ORCID 0000-0002-9195-0399, 79263841762@yandex.ru

Дрозденко Татьяна Викторовна, кандидат биологических наук, заведующая кафедрой экологии и экспериментальной биологии ФГБОУ ВО «Псковский государственный университет» (180000, г. Псков, ул. Красноармейская, 1), ORCID 0000-0002-5553-2296, tboichuk@mail.ru

Хайрулина Татьяна Петровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и природопользования ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского» (Первый казачий университет) (119049, г. Москва, ул. Шаболовская, 14, стр. 9), ORCID 0000-0002-6710-6278, tpkh82@yandex.ru

Поступила в редакцию 11.10.2023

Поступила после рецензии 31.01.2024

Принята к публикации 04.02.2024

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант.

Received 11.10.2023

Revised 31.01.2024

Accepted 04.02.2024

Conflict of interest statement

The authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.