

DOI: 10.24143/2073-5529-2020-1-27-37
УДК 504.064:628.394.6:595.324:665.6

РАКООБРАЗНЫЕ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ВОЛГИ В УСЛОВИЯХ АВАРИЙНЫХ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ

Г. П. Фомичева¹, Б. М. Насибулина², М. Г. Бирюкова³

¹ Центр лабораторного анализа и технических измерений по Астраханской области – филиал ЦЛАТИ по Южному федеральному округу, Астрахань, Российская Федерация

² Астраханский государственный университет, Астрахань, Российская Федерация

³ Астраханский государственный заповедник, Астрахань, Российская Федерация

Нефть и нефтепродукты – опаснейшие загрязнители водной среды. Они нарушают многие естественные процессы и взаимосвязи, меняют условия обитания водных организмов. Разнообразие источников способствует загрязнению природных вод различными по фракционному составу нефтепродуктами. Комплексные исследования загрязнений водной среды были проведены в г. Астрахани в 2013–2015 гг. в местах случайных нефтяных разливов. По результатам анализа проведенных исследований подтверждена необходимость оценки степени загрязнения водной среды углеводородами не только по показателю массовой концентрации нефтепродуктов в водной среде, но и по биологическому показателю безопасной концентрации токсиканта, т. к. при равных показателях массовой концентрации нефтяные загрязнители, обладающие разным фракционным составом, оказывают разную степень токсического воздействия на живые организмы. Тяжелые масляные фракции нефтепродуктов оказывали максимальное воздействие на *Daphnia (Stenodaphnia) magna* Straus, 1820. Предел безвредных концентраций нефтепродуктов, растворенных в водной среде протока Серебряная Воложка, составил 0,034–0,136 мг/дм³; предел безвредных концентраций нефтепродуктов, разлитых на поверхности воды, составил 0,014 мг/дм³. Это в 3,6 раз меньше, чем ПДК нефтепродуктов в воде рыбохозяйственных водоемов (0,05 мг/дм³). Методы биотестирования, наряду с традиционными аналитическими методами, обязательно должны быть использованы в комплексном изучении нефтяных загрязнений водной среды.

Ключевые слова: нефтяные загрязнения, водная среда, биотестирование, токсичность, безопасная концентрация, ущерб.

Для цитирования: Фомичева Г. П., Насибулина Б. М., Бирюкова М. Г. Ракообразные дельты реки Волги в условиях аварийных нефтяных разливов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2020. № 1. С. 27–37. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-1-27-37.

Введение

Водные экосистемы являются наиболее чувствительным звеном природной среды [1]. Аварийные загрязнения природных водоемов нефтяными углеводородами представляют собой серьезную экологическую проблему, обусловленную в Волго-Каспийском бассейне развитием добычи углеводородного сырья, активизацией судоходства, связанного с транспортировкой нефтепродуктов, недобросовестным отношением судовых компаний к правилам обращения и утилизации нефтесодержащих жидких отходов и подсланевых вод, увеличением с каждым годом степени загрязнения почв и природных водных объектов вблизи старых нефтехранилищ, особенно в периоды половодья [2]. Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов ведут к нарушению многих естественных процессов и взаимосвязей в организмах гидробионтов и в водных экосистемах в целом, изменяют условия обитания водных организмов, отражаются на биоразнообразии [3–12]. Происходит закономерное уменьшение видового состава и численности кладоцер в общей массе рачкового зоопланктона и, как следствие, ухудшение кормовой базы для молоди рыб [13].

Разнообразие источников способствует загрязнению природных вод различными по фракционному составу нефтепродуктами, оказывающими разную степень токсического

воздействия на живые организмы. Их безопасные BK_{10} (гибель 10 %) и остро летальные LK_{50} (гибель 50 %) концентрации могут значительно (на один-два порядка) отличаться при одном и том же массовом содержании поллютантов [14–19]. В практике государственного контроля при оценке опасности нефтяных разливов принимают во внимание только значение предельно допустимой концентрации (ПДК), равной $0,05 \text{ г/м}^3$, но не учитывают биологический показатель БК, который наиболее достоверно определяет фактический порог безопасной для гидробионтов концентрации загрязнителя [20].

В связи с вышесказанным представляются актуальными изучение токсичности нефтеуглеводородных загрязнений различного происхождения для гидробионтов дельты р. Волги и разработка комплексной системы оценки ущерба, причиненного рыбохозяйственному водоему нефтяным загрязнением, с применением биотестирования на ракообразных.

Объекты исследования

По данным А. А. Косовой, в низовьях Волги среди основных групп ракообразных второе место в среднем по численности и биомассе занимает надотряд Cladocera. В пробах зоопланктона также встречаются представители ракушковых раков, бокоплавов, моины [21]. Представители надотряда Cladocera (подтип Crustacea) являются исключительно важным ключевым звеном в пищевых цепях естественных водоемов и наиболее чувствительными индикаторами загрязнения природной воды [7]. Исходя из вышесказанного, основным тест-объектом был выбран один из наиболее применяемых в водной токсикологии представитель надотряда Cladocera (Ветвистоусые) – *Daphnia (Stenodaphnia) magna* Straus, 1820. Для изучения влияния нефтепродуктов на представителей прочих отрядов планктонных ракообразных дельты р. Волги в качестве тест-объектов были отловлены, акклиматизированы и разведены в лабораторных условиях популяции следующих видов ракообразных: представители отр. Anomopoda – *Moina weismanni* Ishikawa, *Moina macrocopa*, Straus, (моина), *Chydorus sphaericus* (Muller, 1776) (хидорус); представитель подкласса Copepoda (Веслоногие – Копеподы) *Acanthocyclops vernalis* (Fisher, 1863) (циклоп); представитель отр. Amphipoda (Разноногие раки – Амфиподы) – *Dikerogammarus haemobaphes* (Eichwald, 1841) (дикерогаммарус); представители класса Ostracoda (Ракушковые ракообразные – Остракоды) – *Sarscypridopsis aculeata* (Costa, 1847) (невалидное название вида *Cypridopsis aculeata*), *Cypridopsis vidua* (O. F. Muller, 1779) (ципридописисы) и завезенный из Китая вид *Dolerocypris sinensis* (G. O. Sars, 1903) (долероциприс).

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужили пробы природной воды и нефтесодержащих загрязнителей, отобранные и проанализированные на токсичность в филиале Центра лабораторного анализа и технических измерений (ЦЛАТИ) по Южному федеральному округу – ЦЛАТИ по Астраханской области.

В проведенных исследованиях использовалась методика определения токсичности воды Н. С. Жмур (ФР 1.39.2007.03222), основанная на определении смертности дафний (*Daphnia magna*, Straus, Cladocera, Crustacea) при воздействии токсических веществ, присутствующих в водной среде [22]. Биотестирование на тест-организмах (ципридописисы, моина, гаммарус, циклоп, хидорус) осуществлялось аналогично методике ФР 1.39.2007.03222. Метод ИК-спектроскопии использовался для выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в природных поверхностных водах [23]. Расчет размера вреда (ущерба) проводился по «Методике исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства» в редакциях Приказа Минприроды России от 31 января 2014 г. № 47, 26 августа 2015 г. № 365. Методика утверждена Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 13 апреля 2009 г. № 87 [20].

Чувствительность ракообразных к нефтесодержащим токсикантам

Контроль качества оценки токсичности воды по определению чувствительности используемых тест-организмов к модельному – «эталонному» – токсиканту – калию двухромовокислотному ($K_2Cr_2O_7$) проводился один раз в три месяца. Диапазон концентраций (C) модельного

токсиканта, при действии которого в течение 24 ч гибнет 50 % дафний, составлял 1,0–1,76 мг/дм. Результаты исследования чувствительности тест-объектов по отношению к модельному токсиканту ($K_2Cr_2O_7$) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты исследования чувствительности тест-объектов по отношению к модельному токсиканту

Концентрация модельного токсиканта, С, мг/дм ³					
Дафния	Моина	Хидорус	Гаммарус	Ципридописис	Долероциприс
1,76–1,67	2,03	1,73	1,58	2,26	1,70

Чувствительность всех тест-объектов определена в рамках, близких диапазону чувствительности по отношению к модельному токсиканту ($K_2Cr_2O_7$) для эталонного тест-объекта *Daphnia magna*, Straus, согласно методике (0,9–2,0 мг/дм³) [16].

Для оценки токсичности для гидробионтов нефтесодержащих загрязнителей (нефтешламов № 1, № 2, жидких отходов от промывки нефтешламов № 3, № 4, нефтесодержащих сточных вод № 5 и отхода битума № 6 с различным фракционным и количественным содержанием нефтепродуктов проведены опыты по биотестированию на тест-объектах: *Daphnia* (*Ctenodaphnia*) *magna*, Straus, (дафния), *Moina weismanni* Ishikawa, *Moina macrocopa*, Straus, (моины), *Chydorus sphaericus* (Muller, 1776) (хидорус), *Sarscypridopsis aculeata* (Costa, 1847) (синоним *Cypridopsis aculeata* (Costa, 1852)), *Cypridopsis vidua* (O. F. Muller, 1779) (ципридописис); *Acanthocyclops vernalis* (Fisher, 1863) (циклоп), *Dikerogammarus haemobaphes* (Eichwald, 1841) (гаммарус), *Dolerocypris sinensis* (долероциприс). Результаты исследования представлены на рис. 1.

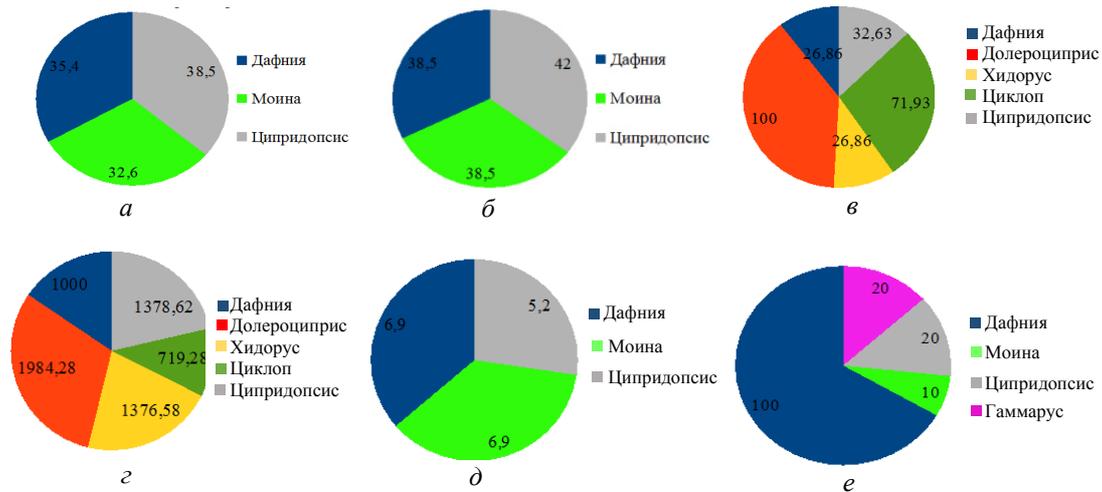


Рис. 1. Оценка токсичности для гидробионтов нефтесодержащих загрязнителей:

БКР – безопасная кратность разбавления:

а – БКР отхода нефтешлама № 1 для планктонных ракообразных;

б – БКР отхода нефтешлама № 2 для планктонных ракообразных;

в – БКР отхода от промывки нефтешлама № 3 для планктонных ракообразных;

г – БКР отхода от промывки нефтешлама № 4 для планктонных ракообразных;

д – БКР нефтесодержащей сточной воды № 5 для планктонных ракообразных;

е – процент всплытия ракообразных в водной вытяжке пробы № 6 битум

Из результатов проведенных испытаний следует, что тест-объекты проявили особую чувствительность к воздействию каждого из нефтесодержащих загрязнителей (всплытие на поверхность воды, линька, отсутствие характерных скачкообразных движений, дыхание затруднено, отсутствие активного питания). Наибольшую резистентность к пробам № 1 и № 6 проявили представители отряда Anomopoda – моины [24]. Наибольшую чувствительность к негативному воздействию отходов нефтешлама и битума по показателям «Смертность» и «Всплытие»

проявили представитель надотряда Cladocera (Ветвистоусые) дафния magna и представители класса Ostracoda (Остракоды) ципридописисы и долероциприс.

Тест-объект *Daphnia (Ctenodaphnia) magna* (Straus, 1820), как и остальные представители надотряда Cladocera, является чутким индикатором загрязнения природной воды нефтепродуктами различных фракций и массовых концентраций. Биотестирование на данном тест-объекте позволяет определить фактически безопасные (BK_{10}) и остро летальные (LK_{50}) для гидробионтов концентрации нефтяных загрязнителей расчетно-графическим методом пробит-анализа.

Оценка токсичности аварийных нефтяных разливов для гидробионтов

В октябре 2015 г. на протоке Серебряная Воложка (г. Астрахань) в районе переулка Рыбачкий произошла авария, результатом которой стал разлив нефтепродуктов площадью 1 280 м². Поверхность акватории в месте аварии покрылась сплошной желто-коричневой нефтяной пленкой толщиной более 1 см, пятно разлива пленочного нефтепродукта на момент обследования 05 октября 2015 г. было ограничено боновым ограждением. Вдоль левого берега от места аварии до пешеходного моста по поверхности воды протянулся сплошной шлейф шириной 2 м из всплывшего зоопланктона класса Ракообразные, что является характерным биотестом на присутствие в воде нефтепродуктов [14–19]. С целью изучения влияния загрязнений водной среды нефтепродуктами непосредственно на живые организмы был проведен отбор проб природной воды и пленочного нефтепродукта с места аварии [2].

Для сравнения степени токсичности были протестированы нефтесодержащий отход, отобранный с поверхности воды в месте аварийного разлива нефтепродуктов, бензин (легкие или бензиновые фракции), керосин (средние или керосиновые фракции), дизельное топливо (дизельная фракция) и машинное масло (тяжелые или масляные фракции). Результаты расчета представлены в виде шкалы токсичности фракций нефтепродуктов (рис. 2).

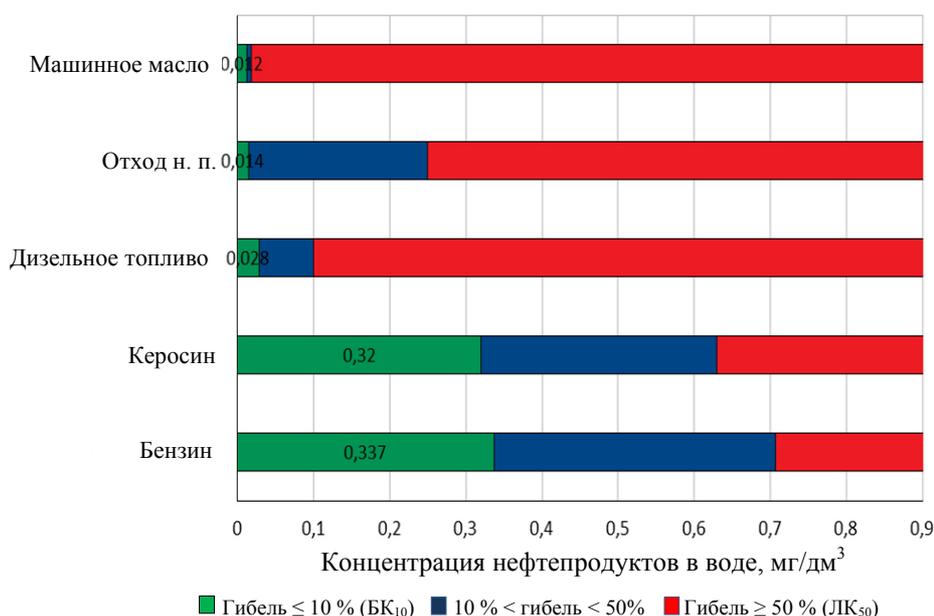


Рис. 2. Шкала токсичности нефтепродуктов для гидробионтов (на примере тест-объекта *Daphnia (Ctenodaphnia) magna* Straus)

Шкала токсичности фракций нефтепродуктов наглядно демонстрирует, что токсичность исследованных углеводородных загрязнителей воды, их LK_{50} и BK_{10} значительно отличаются как между собой, так и от значения ПДК по нефтепродуктам в воде рыбохозяйственных водоемов.

Результаты сравнительного анализа значения ПДК по нефтепродуктам в воде рыбохозяйственных водоемов и BK_{10} нефтепродуктов различных фракций в воде показаны в табл. 2.

Таблица 2

Значения ПДК по нефтепродуктам в воде рыбохозяйственных водоемов и БК₁₀ нефтепродуктов различных фракций в воде

Показатель	Бензин	Керосин	Отход нефтепродукта	Дизельное топливо	Машинное масло
ПДК, мг/дм ³	0,05				
БК ₁₀ , мг/дм ³	0,337	0,320	0,014	0,028	0,012
ПДК/БК ₁₀	0,15	0,16	3,57	1,79	4,17

По степени и характеру токсического влияния на тест-объект отход, отобранный с места аварийного разлива на водном объекте протока Серебряная Воложка, занял среднее положение между тяжелыми и легкими фракциями нефтепродуктов. Расчетное значение БК₁₀ отхода пленочного нефтепродукта составило 0,014 мг/дм³, что в 3,6 раза меньше значения ПДК [16–18].

Биотестирование и количественный химический анализ (КХА) проб природной воды с места аварии позволили установить кратность превышения ПДК с учетом фоновой показателя по растворенным нефтепродуктам, биологически безопасные БК₁₀ и их превышение – безопасную кратность разбавления (БКР₁₀) [22, 23]. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты анализа КХА и биотестирования на тест-объекте *Daphnia magna*, Straus, проб природной воды с протоки Серебряная Воложка

№ места разлива нефтепродуктов, буквенное обозначение точки отбора	У _м ^{***}	Растворенный нефтепродукт		БК ₁₀	БКР ₁₀	К _б ^{****} = ПДК/БК ₁₀
		Концентрация, Сп	Превышение ПДК			
	г/м ³	г/м ³	раз	г/м ³	раз	раз
18Ф*	–	0,063	1,26	0,063	1	<1
18А	312,7460	2,1310	41,36	0,034	63,19	1,47
18Б	222,2856	3,2460	63,66	0,035	90,78	1,43
18В**	–	0,57	10,24	0,136	4,2**	<1
18Г**	–	0,404	6,8	0,118	3,43	<1
18Д	345,4980	0,6090	10,42	0,111	5,46	<1
18Е**	–	0,409	6,92	0,107	3,81**	<1

*Фоновая проба; ** – пробы отобраны ниже пятна нефтяного загрязнения; У_м^{***} – удельная масса пленочного нефтепродукта; К_б^{****} – биологический коэффициент.

В табл. 3 показано, что максимальный уровень превышения ПДК по растворенным нефтепродуктам – в 63,66 раза (с учетом фоновой превышения) – был зафиксирован в точке отбора 18Б в пределах пятна нефтяного загрязнения на протоке Серебряная Воложка [16].

По результатам биотестирования на тест-объекте *Daphnia magna*, Straus, установлено, что фактический уровень безвредных концентраций (БК₁₀) растворенных и диспергированных в природной воде нефтепродуктов в точках отбора 18А и 18Б в пределах пятна нефтяного загрязнения на протоке Серебряная Воложка в 1,5–1,4 раза ниже, чем ПДК по нефтепродуктам для водоемов рыбохозяйственного значения.

Применение биотестирования для оценки вреда, нанесенного воздействием аварийных разливов нефтепродуктов на протоке Серебряная Воложка (2015 г.) с учетом значения биологического показателя БК₁₀ и биологического коэффициента К_б

Рассмотрим применение комплексной системы оценки вреда, причиненного рыбохозяйственному водоему нефтяным загрязнением, с учетом БК₁₀ и биологического коэффициента К_б на примере аварии нефтеналивного судна на протоке Серебряная Воложка.

По результатам лабораторных анализов определено:

- общая масса разлитых нефтепродуктов, т, равна М_н = 0,38 + 0,001 = 0,381.
- размер вреда (ущерб) от аварийного загрязнения водного объекта нефтепродуктами определялся по формуле № 2 методики [20]:

$$У = K_{вг} \cdot K_{дл} \cdot K_{в} \cdot K_{ин} \cdot H_i,$$

где $K_{вр}$ – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года (согласно табл. 1 прил. 1 к методике [20]), равен 1,15; $K_{дл}$ – коэффициент, учитывающий длительность негативного воздействия токсиканта (согласно табл. 4 прил. 1 [20]), равен 5, т. к. меры по ликвидации разлива нефтепродуктов не принимались; $K_{в}$ – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов) (согласно табл. 2 прил. 1 [20]), равен 1,41; $K_{ин}$ – коэффициент инфляции для года (согласно п. 11.1 [20]), равен 1; H_i – такса для исчисления размера вреда (согласно табл. 3 прил. 1 [20]), равна 0,962 млн руб., или 962 тыс. руб.

Таким образом, размер вреда, причиненного водному объекту протока Серебряная Воложка аварийным загрязнением нефтепродуктами в результате аварии судна «Дагестан», составил, тыс. руб.:

$$У = 962 \cdot 1,15 \cdot 5 \cdot 1,41 \cdot 1 = 7\,799,415.$$

Такса H_i для исчисления размера вреда, в соответствии с табл. 8 методики [20], устанавливается с учетом превышения ПДК по показателю «Нефтепродукты», а фактически допустимый для гидробионтов биологический показатель БК в случаях аварийных разливов нередко в несколько раз ниже значения ПДК. Предлагаем для повышения качества оценки вреда, причиненного водным объектам вследствие аварийных разливов нефти и нефтепродуктов, ввести дополнительный биологический коэффициент K_B , учитывающий кратность превышения ПДК по нефтепродуктам по отношению к биологической BK_{10} , определяемой биотестированием на водных тест-объектах (в частности, на тест-объекте ветвистоусый рачок *Daphnia (Ctenodaphnia) magna*, Straus):

$$K_B = \text{ПДК} / \text{БК},$$

в случаях, когда фактическая BK_{10} является более лимитирующим показателем, чем ПДК: $BK_{10} < \text{ПДК}$ ($K_B > 1$).

Для аварийной ситуации на протоке Серебряная Воложка определенный биотестированием расчетный показатель BK_{10} составил 0,014 мг/дм³, а показатель ПДК по нефтепродуктам ПДК – 0,05 мг/дм³. Тогда

$$K_B = 0,05 : 0,014 = 3,6.$$

Это свидетельствует о том, что в данном случае уровень фактического биологически безопасного показателя концентрации (BK_{10}) по нефтепродуктам в 3,6 раз ниже, чем общепринятый для рыбохозяйственных водоемов показатель ПДК, т. е. тонна нефтепродуктов, попавших в водоем протоки Серебряная Воложка, обладает токсичностью, равной токсичности 3,6 т нефтепродукта с $BK_{10} = \text{ПДК} = 0,05$ мг/дм³. Ущерб для данного случая с учетом K_B составит, тыс. руб.

$$У = K_{вр} \cdot K_{дл} \cdot K_{в} \cdot K_{ин} \cdot H_i \cdot K_B;$$

$$У = 962 \cdot 1,15 \cdot 5 \cdot 1,41 \cdot 1 \cdot 3,6 = 28\,077,89.$$

Фактический ущерб, с учетом дополнительного биологического коэффициента K_B , в 3,6 раза выше, чем ущерб, исчисленный только по результатам измерений КХА. Применение результатов биотестирования в данном случае повысило качество расчета, позволив учесть фактическую токсичность разлива нефтепродуктов для гидробионтов.

Проведенное исследование позволило определить степень устойчивости массовых видов ракообразных водоемов дельты р. Волги к воздействию нефтепродуктов и выявить фактический диапазон толерантности к данному фактору. Наибольшую чувствительность к нефтетоксикантам проявили представитель надотряда Cladocera (Ветвистоусые) *Daphnia (Ctenodaphnia) magna*, Straus, и представители класса Ostracoda (Остракоды) *Sarscypridopsis aculeata* (Costa, 1847) (синоним *Cypridopsis aculeata*) и *Cypridopsis vidua* (O. F. Muller, 1779). Представители отряда Anomopoda – *Moina weismanni* Ishikawa и *Moina macrocopa*, Straus, более толерантны к воздействию нефтетоксикантов. Показано, что анализ комплекса реакций – гибель, всплытие, дыхание – на тест-объекте *Daphnia (Ctenodaphnia) magna*, Straus, позволяет быстро (в течение 1–3 ч) выявить присутствие концентраций нефтепродуктов в пробах воды, вызывающих острую токсичность у тест-организмов (по реакции всплытия), и наиболее объективно оценить степень опасности загрязнения. Изучено влияние на гидробионтов различных фракций нефтепродуктов.

Выявлено, что токсический эффект нефтепродуктов повышается от легких к тяжелым масляным фракциям, степень токсичности аварийного разлива зависит от фракционного состава нефтяного поллютанта, и при повышенном проценте содержания тяжелых масляных фракций фактическая биологически БК ниже значений ПДК. Предложено учитывать значение БК₁₀ при оценке фактического ущерба, причиняемого рыбохозяйственным водоемам воздействием нефтяных разливов, если БК₁₀ < ПДК.

Заключение

В проведенном нами исследовании показано: использование только аналитических химических методов не является достаточным критерием для объективной оценки степени токсичности водной среды. Летальные (ЛК₅₀) и безопасные (БК₁₀) концентрации исследованных углеводородных загрязнителей воды значительно отличаются как между собой, так и от значения ПДК по нефтепродуктам в воде рыбохозяйственных водоемов. Рассмотрены перспективы применения метода биотестирования на водном тест-объекте, представителе надотряда Cladocera (Ветвистоусые) *Daphnia (Stenodaphnia) magna*, Straus, – для уточнения оценки вреда, причиненного рыбохозяйственным водоемам нефтяными загрязнениями в случаях, когда БК₁₀ < ПДК ($K_B > 1$). Проведенные исследования могут стать основой для повышения качества текущего и оперативного токсикологического контроля за состоянием водных экосистем, оценки вреда источников загрязнения и для разработки концепции комплексной токсикологической оценки природных вод как обязательного элемента в системе контроля качества воды, в том числе в практике контроля природоохранных организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ануфриев Д. П., Боронина Л. В. и др. Обеспечение экологической безопасности Волжско-Каспийского бассейна // Сохранение биологических ресурсов Каспия: материалы и докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Астрахань, 18–19 сентября 2014 г.). Астрахань: Изд-во АГТУ, 2014. С. 118–123.
2. Боронина Л. В., Садчиков П. Н., Тажиева С. З., Москвичева Е. В. Исследование сезонной динамики загрязненности поверхностных вод Нижневолжского бассейна // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 4. С. 419–425.
3. Александров А. К. Влияние загрязнения на рыбохозяйственные водоемы // Материалы I Всесоюз. конф. по рыбохозяйств. токсикологии. Рига, 1988. С. 314.
4. Лебедева Г. Д. Экологический подход к оценке устойчивости пресноводных гидробионтов: учеб. Ярославль: Изд-во ЯрГУ, 1989. 337 с.
5. Нельсон-Смит А. Нефть и экология моря. М.: Прогресс, 1977. 302 с.
6. Фомичева Г. П., Насибулина Б. М., Камакин А. М. Исследование нефтяных загрязнений водных сред методами количественного химического анализа и биотестирования // Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. (Астрахань, 12–13 октября 2017 г.). Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 2017. 308 с.
7. Черкашин С. А. Отдельные аспекты влияния углеводородов нефти на рыб и ракообразных // Вестн. Дальневосточ. отд-ния Рос. акад. наук. 2005. № 3. С. 83–91.
8. Виноградов А. К. Нефтяное загрязнение морей и онтогенез морских костистых рыб // Научные основы установления ПДК в водной среде и самоочищение поверхностных вод. М.: Пищ. пром-сть, 1972. С. 114–117.
9. Грушко Я. М., Кожова О. М., Мамонтова Л. М. Токсические вещества в сточных водах нефтехимических предприятий и их влияние на гидробионтов: обзор // Гидробиологический журнал. 1978. Вып. 14. № 2. С. 55–60.
10. Rice S. D., Short J. W., Karinen J. F. Comparative oil toxicity and comparative animal sensitivity // Fate and Effects of Petroleum Hydrocarbons in Marine Ecosystems and Organisms. N. Y.: Pergamon Press, 1977. P. 78–94.
11. Mancha R., Diaz G., Arese A. Prediction of bioaccumulation potential of some aromatic hydrocarbons in indicator species of ecotoxicity // Bull. Environ. Contam. And Toxicol. 1997. V. 59. N. 3. P. 422–429.
12. Miner B. E., De Meester L., Pfrender M. E., Lampert W., Hairston N. G. Linking genes to communities and ecosystems: *Daphnia* as an ecogenomic model: Review // Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. February 2012. P. 1873–1882. DOI: 10.1098/rspb.2011.2404.
13. Алимов А. Ф., Бульон В. В., Гутельмахер Б. Л., Иванова М. Б. Применение биологических и экологических показателей для определения степени загрязнения природных вод // Водные ресурсы. 1979. № 5. С. 137–141.
14. Балаян А. Э., Саксонов М. Н., Стом Д. И., Лозовой Д. В. Реакция всплывания дафний при действии нефтепродуктов // Человек – среда – Вселенная: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Иркутск, 16–20 июня 1997 г.). Иркутск, 1997. Т. 1. С. 37–38.

15. Лозовой Д. В. Биотестирование нефтепродуктов с помощью ракообразных // Безопасность биосферы: сб. тез. докл. Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2000. С. 108.
16. Фомичева Г. П., Камакин А. М., Фёдорова И. В. Определение степени токсичности природных поверхностных вод, загрязненных нефтепродуктами, методами количественного химического анализа и биотестирования // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. 2016. № 4. С. 42–49.
17. Фомичева Г. П., Насибулина Б. М., Камакин А. М., Фёдорова И. В., Мунер Р. С. Изучение токсичности фракций нефтепродуктов методом биотестирования // Естественные науки. Астрахань: Изд-во АГУ, 2016. № 4 (57). С. 22–29.
18. Фомичева Г. П., Насибулина Б. М., Камакин А. М. Оценка состояния рыбохозяйственных водоемов дельты р. Волги в условиях нефтяного загрязнения // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность 2017: материалы Науч.-практ. конф. с междунар. участием (Севастополь, 11–15 сентября 2017 г.). Севастополь: Изд-во Севастоп. ГУ, 2017. С. 1450–1453.
19. Фомичева Г. П., Насибулина Б. М., Камакин А. М. Изучение биотестов *Daphnia magna*, Straus, как метод оценки степени токсичности природных вод дельты реки Волги в условиях нефтяного загрязнения // Крымская инициатива. Экологическая безопасность регионов: концептуально-экологические, практические, природоохранные и мировоззренческие аспекты: материалы I Всерос. междисциплинар. междунар. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Симферополь, 5–7 октября 2017 г.). Симферополь: ООО «Эльинь», 2017. С. 192–197.
20. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства: утв. Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 13 апреля 2009 г. № 87 (в ред. Приказа Минприроды России от 31 января 2014 г. № 47, 26 августа 2015 г. № 365). URL: <https://greenwire.greenpeace.org/russia/ru/system/files/ru/document/21384d48-9123-4266-9c83-248adb36b550.pdf> (дата обращения: 17.08.2019).
21. Штепина Л. А. Планктонные ракообразные низовьев дельты р. Волги // Актуальные проблемы изучения ракообразных континентальных вод: материалы лекций и докл. Междунар. шк.-конф. Кострома, 2012. С. 322–324.
22. Жмур Н. С. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. М.: АКВАРОС, 2007. 54 с.
23. ПНД Ф 14.1:2.4.5-95. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в питьевых, поверхностных и сточных водах методом ИК-спектроскопии. М.: Изд-во ФБУ ФЦАО, 2011. 18 с.
24. Способы культивирования моины. URL: <http://aquavitro.org/2013/05/19/sposoby-kultivirovaniya-moiny/> (дата обращения: 17.08.2019).

Статья поступила в редакцию 25.10.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фомичева Галина Петровна – Россия, 414000, Астрахань; Центр лабораторного анализа и технических измерений по Астраханской области – филиал ЦЛТИ по Южному федеральному округу; ведущий инженер химико-аналитического отдела; g.fomicheva2012@mail.ru.

Насибулина Ботагоз Мурашовна – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный университет; д-р биол. наук, доцент; профессор кафедры экологии, природопользования, землеустройства и безопасности жизнедеятельности; a.spu.nasibulina@yandex.ru.

Бирюкова Мария Георгиевна – Россия, 414021, Астрахань; Астраханский государственный заповедник; научный сотрудник эколого-биологического отдела; mizuirono@yahoo.com.



CRUSTACEANS OF THE VOLGA DELTA IN EMERGENCY CONDITIONS OF OIL SPILLS

G. P. Fomicheva¹, B. M. Nasibulina², M. G. Biryukova³

¹ Center of Laboratory Analysis and Technical Measurements in the Astrakhan region,
branch of Center of Laboratory Analysis and Technical Measurements in Southern Federal District,
Astrakhan, Russian Federation

² Astrakhan State University,
Astrakhan, Russian Federation

³ Astrakhan State Nature Reserve,
Astrakhan, Russian Federation

Abstract. The article describes the dangerous consequences of petroleum products - the most dangerous pollutants of the aquatic environment, which disturb many natural processes and relationships, changing the habitat of aquatic organisms. A variety of sources contributes to the pollution of natural waters with various fractional composition of petroleum products. The complex studies of oil pollution of water bodies were carried out in the vicinities of Astrakhan in places of accidental oil spills in 2013-2015. Analysis of the study results confirmed the need to assess the extent of water pollution by hydrocarbons, not only in terms of the mass concentration of oil in the water, but also in biological parameters of the harmless concentration of the toxicant, because under equal levels of mass concentration oil contaminants with different fractional composition have different degree of toxic effects on living organisms. The heavy oil fractions of the oil products had the maximum effect on *Daphnia magna* Straus. The limit of harmless concentration of oil products dissolved in natural waters of the Serebryanaya Volozhka canal was 0.034-0.136 mg/dm³; the limit of harmless concentrations of oil products spilled on the water surface made 0.014 mg/dm³. This is 3.6 times less than maximum permissible coefficient of oil products in the water bodies of Russia (0.05 mg/dm³). Bioassay methods, along with the traditional analytical methods have to be used in a comprehensive study of oil pollution of the aquatic environment.

Key words: oil pollution, aquatic environment, biotesting, toxic effects, harmless concentration, damage.

For citation: Fomicheva G. P., Nasibulina B. M., Biryukova M. G. Crustaceans of the Volga delta in emergency conditions of oil spills. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2020;1:27-37. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2020-1-27-37.

REFERENCES

1. Anufriev D. P., Boronina L. V. i dr. Obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti Volzhsko-Kaspiiskogo basseina [Ensuring environmental safety of Volga-Caspian basin]. *Sokhranenie biologicheskikh resursov Kaspiia: materialy i doklady Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Astrakhan', 18-19 sentiabria 2014 g.)*. Astrakhan', Izd-vo AGTU, 2014. Pp. 118-123.
2. Boronina L. V., Sadchikov P. N., Tazhieva S. Z., Moskvicheva E. V. Issledovanie sezonnoi dinamiki zagriaznennosti poverkhnostnykh vod Nizhnevolzhskogo basseina [Study of seasonal dynamics of surface water pollution in Lower Volga basin]. *Vodnye resursy*, 2016, vol. 43, no. 4, pp. 419-425.
3. Aleksandrov A. K. Vliianie zagriazneniia na rybokhoziaistvennyye vodoemy [Impact of pollution on fisheries]. *Materialy I Vsesoiuznoi konferentsii po rybokhoziaistvennoi toksikologii*. Riga, 1988. P. 314.
4. Lebedeva G. D. *Ekologicheskii podkhod k otsenke ustoichivosti presnovodnykh gidrobiontov: uchebnik* [Ecological approach to assessing stability of freshwater aquatic organisms: textbook]. Iaroslavl', Izd-vo IarGU, 1989. 337 p.
5. Nel'son-Smit A. *Neft' i ekologiya moria* [Oil and marine ecology]. Moscow, Progress Publ., 1977. 302 p.
6. Fomicheva G. P., Nasibulina B. M., Kamakin A. M. Issledovanie nefhtianyykh zagriaznenii vodnykh sred metodami kolichestvennogo khimicheskogo analiza i biotestirovaniia [Studying oil pollution of water environment by methods of quantitative chemical analysis and biotesting]. *Problemy sokhraneniia ekosistemy Kaspiia v usloviakh osvoeniia neftegazovykh mestorozhdenii: materialy VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Astrakhan', 12-13 oktiabria 2017 g.)*. Astrakhan', Izd-vo KaspNIRKh, 2017. 308 p.
7. Cherkashin S. A. Otdel'nye aspekty vliianiia uglevodorodov nefhti na ryb i rakoobraznykh [Aspects of oil hydrocarbons influence on fish and crustaceans]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk*, 2005, no. 3, pp. 83-91.

8. Vinogradov A. K. Neftianoe zagriaznenie morei i ontogenez morskikh kostistykh ryb [Oil pollution of seas and ontogenesis of sea bony fish]. *Nauchnye osnovy ustanovleniia PDK v vodnoi srede i samoochishchenie poverkhnostnykh vod*. Moscow, Pishchevaia promyshlennost' Publ., 1972. Pp. 114-117.
9. Grushko Ia. M., Kozhova O. M., Mamontova L. M. Toksicheskie veshchestva v stochnykh vodakh neftekhimicheskikh predpriatii i ikh vliianie na gidrobiontov: obzor [Toxic substances in wastewaters of petrochemical enterprises and their effect on aquatic organisms: survey]. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 1978, iss. 14, no. 2, pp. 55-60.
10. Rice S. D., Short J. W., Karinen J. F. Comparative oil toxicity and comparative animal sensitivity. *Fate and Effects of Petroleum Hydrocarbons in Marine Ecosystems and Organisms*. N. Y., Pergamon Press, 1977. Pp. 78-94.
11. Mancha R., Diaz G., Arese A. Prediction of bioaccumulation potential of some aromatic hydrocarbons in indicator species of ecotoxicity. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 1997, vol. 59, no. 3, pp. 422-429.
12. Miner B. E., De Meester L., Pfrender M. E., Lampert W., Hairston N. G. Linking genes to communities and ecosystems: Daphnia as an ecogenomic model: Review. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, February 2012, pp. 1873-1882. DOI: 10.1098/rspb.2011.2404.
13. Alimov A. F., Bul'on V. V., Gutel'makher B. L., Ivanova M. B. Primenenie biologicheskikh i ekologicheskikh pokazatelei dlia opredeleniia stepeni zagriazneniia prirodnykh vod [Using biological and environmental indicators to determine degree of pollution of natural waters]. *Vodnye resursy*, 1979, no. 5, pp. 137-141.
14. Balaian A. E., Saksonov M. N., Stom D. I., Lozovoi D. V. Reaktsiia vsplytiia dafnii pri deistvii nefteproduktov [Daphnia ascent reaction for oil products]. *Chelovek – sreda – Vselennaia: tezisy dokladov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Irkutsk, 16–20 iyunia 1997 g.)*. Irkutsk, 1997. Vol. 1. Pp. 37-38.
15. Lozovoi D. V. Biotestirovanie nefteproduktov s pomoshch'iu rakoobraznykh [Biological testing of petroleum products using crustaceans]. *Bezopasnost' biosfery: sbornik tezisov dokladov*. Ekaterinburg, Izd-vo UGTU-UI, 2000. P. 108.
16. Fomicheva G. P., Kamakin A. M., Fedorova I. V. Opredelenie stepeni toksichnosti prirodnykh poverkhnostnykh vod, zagriaznennykh nefteproduktami, metodami kolichestvennogo khimicheskogo analiza i biotestirovaniia [Determining toxicity of natural surface waters contaminated with oil products by methods of quantitative chemical analysis and biotesting]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, no. 4, pp. 42-49.
17. Fomicheva G. P., Nasibulina B. M., Kamakin A. M., Fedorova I. V., Muner R. S. Izuchenie toksichnosti fraktsii nefteproduktov metodom biotestirovaniia [Studying toxicity of petroleum fractions by bioassay]. *Estestvennye nauki*. Astrakhan', Izd-vo AGU, 2016. No. 4 (57). Pp. 22-29.
18. Fomicheva G. P., Nasibulina B. M., Kamakin A. M. Otsenka sostoianiia rybokhoziaistvennykh vodoev del'ty r. Volgi v usloviakh neftianogo zagriazneniia [Assessment of fishery ponds of the Volga delta after oil pollution]. *Ekologicheskaiia, promyshlennaia i energeticheskaiia bezopasnost' 2017: materialy Nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Sevastopol', 11–15 sentiabria 2017 g.)*. Sevastopol', Izd-vo Sevastop. GU, 2017. Pp. 1450-1453.
19. Fomicheva G. P., Nasibulina B. M., Kamakin A. M. Izuchenie biotestov Daphnia magna, Straus kak metod otsenki stepeni toksichnosti prirodnykh vod del'ty reki Volgi v usloviakh neftianogo zagriazneniia [Studying biotests of Daphnia magna, Straus as method for assessing toxicity of natural waters of the Volga delta after oil pollution]. *Krymskaia initsiativa. Ekologicheskaiia bezopasnost' regionov: kontseptual'no-ekologicheskii, prakticheskii, prirodookhrannyye i mirovozzrencheskie aspekty: materialy I Vserossiiskoi mezhdistsiplinarnoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Simferopol', 5–7 oktiabria 2017 g.)*. Simferopol', OOO «El'in'o» Publ., 2017. Pp. 192-197.
20. *Metodika ischisleniia razmera vreda, prichinennogo vodnym ob'ektam vsledstvie narusheniia vodnogo zakonodatel'stva: utverzhdena Prikazom Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii RF ot 13 apreliia 2009 g. № 87 (v redaktsii Prikaza Minprirody Rossii ot 31 ianvaria 2014 g. № 47, 26 avgusta 2015 g. № 365)* [Methods for measuring damage of water bodies caused by violation of water legislation: approved by Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated April 13, 2009 No. 87 (as amended by Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated January 31, 2014 No. 47, August 26, 2015 No. 365)]. Available at: <https://greenwire.greenpeace.org/russia/ru/system/files/ru/document/21384d48-9123-4266-9c83-248adb36b550.pdf> (accessed: 17.08.2019).
21. Shtepina L. A. Planktonnye rakoobraznye nizov'ev del'ty r. Volgi [Planktonic crustaceans of the lower reaches of the Volga river Delta]. *Aktual'nye problemy izucheniia rakoobraznykh kontinental'nykh vod: materialy lektsii i dokladov Mezhdunarodnoi shkoly-konferentsii*. Kostroma, 2012. Pp. 322-324.
22. Zhmur N. S. *Metodika opredeleniia toksichnosti vody i vodnykh vytiashkek iz pochv, osadkov stochnykh vod, otkhodov po smertnosti i izmeneniiu plodovitosti dafnii* [Methods of determining toxicity of water extracts from soils, sewage sludge, waste waters according to mortality and changes in fertility of daphnias]. Moscow, AKVAROS Publ., 2007. 54 p.

23. PND F 14.1:2.4.5-95. *Kolichestvennyi khimicheskii analiz vod. Metodika izmerenii massovoi kontsentratsii nefteproduktov v pit'evykh, poverkhnostnykh i stochnykh vodakh metodom IK-spektrometrii* [PND F 14.1:2.4.5-95. Quantitative chemical analysis of water. Methods of measuring mass concentration of oil products in drinking, surface and waste waters by infrared spectrometry]. Moscow, Izd-vo FBU FtsAO, 2011. 18 p.

24. *Sposoby kul'tivirovaniia moiny* [Methods of cultivating moina]. Available at: [http:// aquavitro.org/2013/05/19/sposoby-kultivirovaniya-moiny/](http://aquavitro.org/2013/05/19/sposoby-kultivirovaniya-moiny/) (accessed: 17.08.2019).

The article submitted to the editors 25.10.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Fomicheva Galina Petrovna – Russia, 414000, Astrakhan; Center of Laboratory Analysis and Technical Measurements in the Astrakhan region – brunch of Center of Laboratory Analysis and Technical Measurements in Southern Federal District; Leading Engineer of Chemical and Analytical Department; g.fomicheva2012@mail.ru.

Nasibulina Botagoz Murasovna – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State University; Doctor of Biology, Assistant Professor; Professor of the Department of Ecology, Nature Management, Land Management and Life Safety; a.spu.nasibulina@yandex.ru.

Biryukova Maria Georgievna – Russia, 414021, Astrakhan; Astrakhan State Nature Reserve; Researcher of Ecological-Biological Department; mizuiro@yaho.com.

