

Научная статья
УДК 597.556.11-15:665.7
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-1-27-34>
EDN RNACIY

Экспериментальное воздействие мазута и дизельного топлива на личинок атерины

**Наталья Станиславовна Кузьминова^{1✉},
Ирина Вячеславовна Вдодович², Роман Александрович Солецкий³**

^{1, 2}Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН,
Севастополь, Россия, kunast@rambler.ru

³Творческое объединение «Гидроэкология»
Центра эколого-натуралистического творчества учащейся молодежи,
Севастополь, Россия

Аннотация. В последние годы вода и грунты Черного моря содержат нефтепродукты, концентрации которых превышают допустимые до 3 раз. В связи с ограниченностью работ по исследованию эффектов влияния нефтепродуктов на молодь морских рыб представлялось важным оценить эффект влияния низких концентраций мазута и дизельного топлива (½ ПДК, ПДК (0,05 мл/л) и 2 ПДК) на личинок атерины. Этот объект уже был успешно использован нами при тестировании хозяйственно-бытовых сточных вод и пестицидов. Несмотря на то, что представители семейства *Atherinidae* не являются промыслово значимыми, это активные пелагические виды рыб прибрежной зоны южных морей и важный объект в трофической цепи прибрежного биоценоза. На примере собственных экспериментов и литературных данных доказано, что указанные концентрации нефтепродуктов должны быть пересмотрены с точки зрения их безопасности для гидробионтов. За трое суток выживаемость личинок снизилась более чем на 50 %, после чего на 4-5 сутки все особи (включая контрольных) погибли. При постановке аналогичного эксперимента с соляжкой, в связи с ее большей токсичностью, был добавлен фактор кормления. Личинки атерины потребляли как цисты, так и науплиусов жабронога, однако к 3 дню кишечника рыб были пустыми. Это, как и показатели выживаемости, превышающие контрольные величины, вероятно, часть компенсаторных реакций организма в ответ на присутствие токсиканта. С методической точки зрения следует проводить даже острые и краткосрочные токсикологические эксперименты с кормлением, т. к. это существенно влияет на определение степени токсичности среды или отдельного ксенобиотика.

Ключевые слова: атерина, личинки, нефтепродукты, питание, соляжка, мазут, предельно допустимая концентрация, выживаемость

Благодарности: исследование выполнено в рамках НИР «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ государственной регистрации 121031500515-8), а также госзадания № 121030100028-0 «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана».

Для цитирования: Кузьминова Н. С., Вдодович И. В., Солецкий Р. А. Экспериментальное воздействие мазута и дизельного топлива на личинок атерины // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 1. С. 27–34. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-1-27-34>. EDN RNACIY.

Original article

Experimental effect of mazut and diesel oil on *Atherina* larvae

Natalya S. Kuzminova^{1✉}, Irina V. Vdodovich², Roman A. Soletskiy³

^{1, 2}A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS,
Sevastopol, Russia, kunast@rambler.ru

³Hydroecology Section of Environmentally-Educational Student Centre,
Sevastopol, Russia

Abstract. In the recent years, in the water and soils of the Black Sea are found oil products, whose concentration exceeds the allowable standard by 3 times. Due to the limited works on studying the petroleum products' impact on the sea fish juveniles, evaluating the effect of low concentrations of fuel oil and diesel oil ($\frac{1}{2}$ maximum permissible concentration (MPC), MPC – 0.05 ml/l and 2 MPC) on atherina larvae was seen as important. This object has already been successfully used in testing the domestic sewage and pesticides. Despite the fact that Atherinidae species are not commercially significant, they are active pelagic fish species of the coastal zone of the southern seas and an important object in the trophic chain of the coastal biocenosis. As a results of the proper experiments, as well as of the literature data, it was proved that the above allowed concentrations of oil products should be revised from the point of view of their safety for aquatic organisms. During three days, the survival of larvae decreased by more than 50%, after which all species (including controls) died in 4-5 days. A similar experiment with diesel oil and fuel oil, due to its greater toxicity, included a feeding factor. Atherina larvae consumed both cysts and branchiopod nauplii, however, on the third day their intestines were empty. This fact, as well as survival rates exceeding the control values, is probably part of the organism compensatory reaction in response to the toxicant presence. From a methodological point of view, it would be more correct to carry out even acute and short-term toxicological experiments with feeding, because they significantly influence the determination of toxicity of the environment or of a specific xenobiotic.

Key words: Atherina, larvae, petroleum products, feeding, diesel oil, mazut, maximum allowable concentration, survival

Acknowledgements: the study was performed within the research work “Molecular and biogeochemical basis of homeostasis of marine ecosystems” (state registration number 121031500515-8) and state task 121030100028-0 “Regularities of formation and anthropogenic transformation of biodiversity and bioresources of the Azov-Black Sea basin and other regions of the World Ocean”.

For citation: Kuzminova N. S., Vlodovich I. V., Soletskiy R. A. Experimental effect of mazut and diesel oil on Atherina larvae. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry.* 2023;1:27-34. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-1-27-34>. EDN RNACIY.

Введение

Нефтяное загрязнение водоемов остается одним из самых распространенных и опасных видов антропогенного воздействия на Мировой океан. Компоненты нефтяного загрязнения попадают в моря в результате добычи нефти, судоходства, выпадения атмосферных осадков и действия речного стока, а также с уже загрязненных донных отложений портовых акваторий. Известно, например, что за последние 10–20 лет загрязнение прибрежных вод Среднего Каспия нефтепродуктами в целом стабильно превышает ПДК в 1–3 раза, и очень редко встречаются районы, где концентрация нефтяных углеводородов была бы меньше или на уровне ПДК [1]. В водной толще северо-восточной части Черного моря в 2011–2014 гг. среднегодовые концентрации нефтепродуктов (НП) менялись от 0,6 до 0,8 ПДК, а с 2011 по 2015 г. частота встречаемости проб воды, в которых концентрация НП была больше ПДК, не превышала 9–14 % от общего количества проанализированных проб. Неблагополучными в этом отношении были Керченское предпроливье, траверз г. Анапы, участок Геленджик – Архипо-Осиповка и побережье района г. Сочи [2]. Несмотря на информативность мониторинговых работ, биотестирования и биоиндикации эффектов воздействия НП на гидробионты, а также неоднозначное отношение ученых к концепции ПДК, остаются открытыми вопросы методического характера проведения токсикологических работ в области водной токсикологии.

Высокая токсичность нефти в концентрациях 14–30 мг/л уже доказана на примере некоторых видов взрослых черноморских рыб [3]. Сходные исследования были проведены и на ранних стадиях

развития рыб (мальках кефали, нильской тилляпии, корюшки и др.) [4–7].

В настоящем исследовании была поставлена цель – проанализировать в эксперименте воздействие НП в низких концентрациях на личинок атерины при их кормлении и без.

Объект, материалы и методы исследования

Активные пелагические виды рыб более чувствительны к нефтяному загрязнению, чем рыбы других экологических групп ихтиофауны [3]. Черноморская атерина – прибрежный эвригалинный вид, размножение которого порционное и продолжительное – с мая по сентябрь [8, 9]. Преимущество использования атерины при биоиндикационных работах, а также при биотестировании, заключается в ее широком распространении, наличии в прибрежье в течение всего теплого периода года. В Черном море атерины не являются объектом промысла, однако, являясь пищевыми конкурентами для других видов рыб и объектом питания для хищных видов, они играют важную роль в трофической цепи прибрежных ихтиоценозов.

Молодь рыб была отловлена в прибрежной зоне бухты Круглая саком в июле-августе 2022 г. Личинки атерины *Atherina* sp. постоянно держатся на выходе из бухты Круглая; данная часть акватории характеризуется относительной чистотой вод [10]. Химический анализ морской воды в районе отлова был осуществлен с использованием стандартных наборов реактивов фирмы Tetra. Концентрация O_2 составила 3 мг/л, PO_4 – 5 мг/л, NO_3 – 5 мг/л, NO_2 < 0,3 мг/л.

После транспортировки в лабораторию хемозологии Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского личинок адаптировали, помещая

в чистую воду с аэрацией на 1 ч. В первом эксперименте токсикант (солярка/мазут) в концентрациях 0,025 мл/л (К1, ПДК/2), 0,05 мл/л (К2, т. е. ПДК) и 0,1 мл/л (К3, 2ПДК) был добавлен с помощью автоматического дозатора в чистую морскую воду. В каждом кристаллизаторе объем морской воды составлял 2 л. Концентрация НП 0,05 мл/л (К2) является ПДК для рыбохозяйственных водоемов [11].

Контролем служила чистая морская вода без токсиканта. В кристаллизаторы с разными концентрациями помещали по 15–20 личинок. Каждый эксперимент повторяли 3 раза. Определяли выживаемость молоди рыб в течение 4–5 суток и, в конечном счете, оценивали ее относительно первоначальной численности, %.

Второй эксперимент (с соляркой) отличался тем, что личинок в опытах и контроле кормили 1 раз в сутки, внося сачком науплиусы артемии (цисты также попадали в кристаллизатор автоматически). Цисты жаброногого рачка *Artemia*, из которых в течение нескольких дней можно получить науплиусы, во всем мире признаны наилучшим живым стартовым кормом для многих видов рыб и ракообразных [12]. Мы использовали 3–4-суточных особей

жабронога. Диаметр цист был в среднем 0,25 мм, а размер науплиусов – от 0,3 до 0,8 мм.

Через 20–30 минут отлавливали не менее 5 личинок в сутки из каждого кристаллизатора, фиксировали в спиртовом растворе.

Питание рыб изучалось по методике [13]. Личинок вскрывали под микроскопом МБС–9, извлекали содержимое кишечника, в котором идентифицировали пищевые объекты, затем их просчитывали и измеряли под микроскопом Nikon Eclipse 200 при увеличении 40х. Массу тела личинок рыб W , мг, измеряли на торсионных весах. Длина TL , мм, – расстояние от вершины рыла до вертикали конца наиболее длинной лопасти хвостового плавника; длина SL , мм, измерялась от вершины рыла до конца позвоночного столба.

При статистическом анализе использовали приложение Microsoft Office Excel 2016.

Результаты и обсуждение

Отмечено, что за трое суток экспериментов (воздействие дизельного топлива и мазута) выживаемость личинок атерины снизилась (рис. 1).

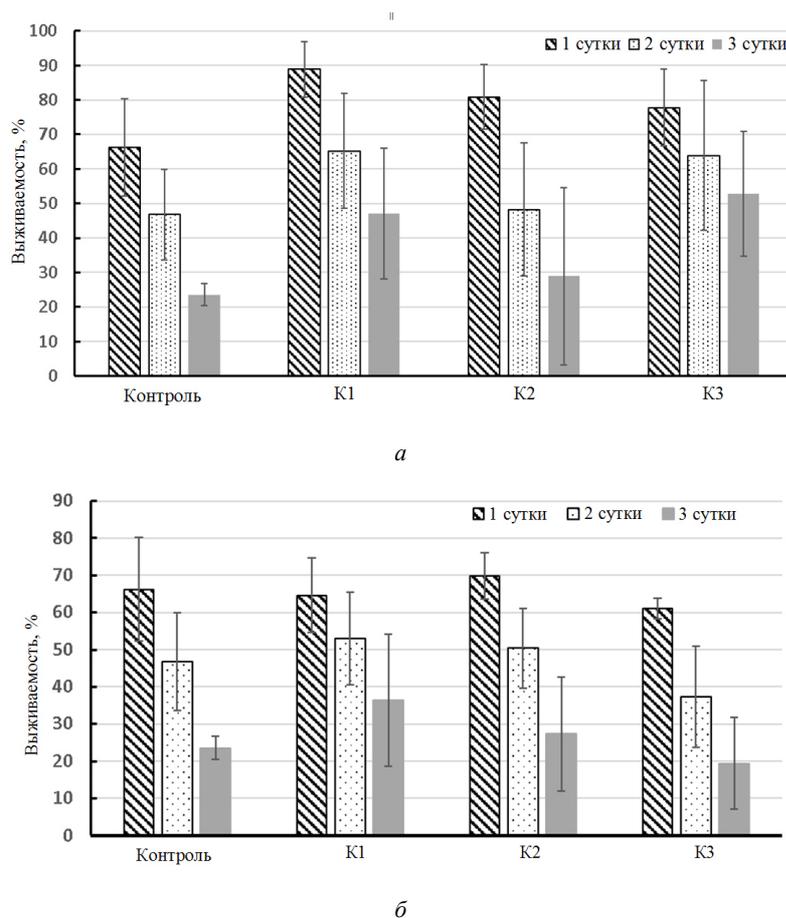


Рис. 1. Выживаемость личинок атерины, подвергнутых влиянию дизельного топлива (а) и мазута (б)

Fig. 1. Survival of atherina larvae exposed to diesel oil (a) and fuel oil (b)

Значения показателя выживаемости достоверно различались между 1-м и 3-м днем. Чем выше была концентрация солярки/мазута, тем выживаемость рыб оказалась выше. Личинки атерины, помещенные в растворы с мазутом, имели более близкие к контрольным величинам выживаемости, в то время как при воздействии низких концентраций дизельного топлива эти отличия были сильнее. Данный факт можно трактовать как более губительное действие дизельного топлива, по сравнению с тяжелыми нефтяными фракциями.

Неоднозначный эффект меньшей смертности в опытах, нежели в контроле, можно объяснить активизацией защитных свойств личинок в ответ на поступление токсиканта в организм, что было показано на примере эксперимента по влиянию хозяйственно-бытовых сточных вод на личинок атерины [14]. Это

подтверждают и другие аналогичные работы: при воздействии солярки (2,5 и 5 мл/л) на мальков кефали у рыб только к 3-4 дню отмечали нарушение в двигательной и дыхательной активности, нарушение пигментации тела [6], при этом активность антиоксидантных ферментов возрастала на вторые сутки, после чего концентрация ферментов значительно снизилась [6]. В данных краткосрочных экспериментах молодь черноморских рыб не питалась, и сочетание этих двух факторов – воздействия токсиканта и отсутствия пищи – привело к фазности реагирования защитной системы организма, но, в конечном счете, к гибели.

При изучении влияния низких концентраций солярки на личинок атерины на фоне потребления ими корма получены отличные от первого эксперимента результаты (рис. 2).

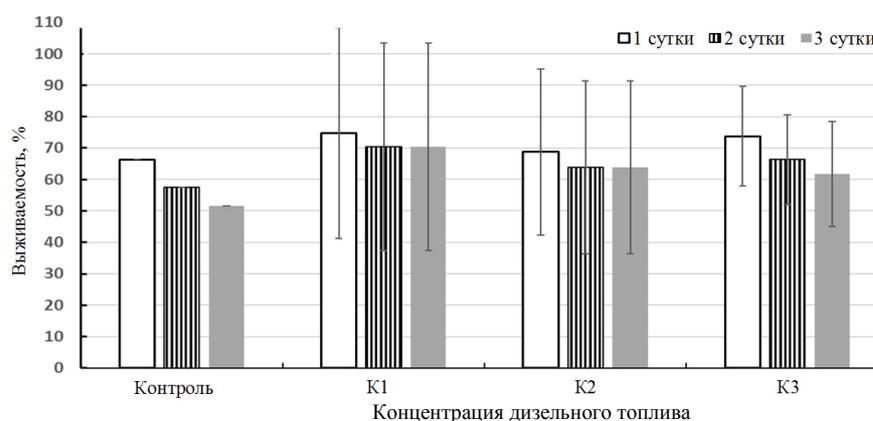


Рис. 2. Выживаемость личинок атерины, потреблявших артемию, подвергнутых влиянию дизельного топлива

Fig. 2. Survival rate of atherina larvae consuming Artemia and exposed to diesel oil

Во-первых, сами величины выживаемости рыб были достаточно высокими – гибель не превышала 50 % в опытах и контроле, следовательно, острого токсического эффекта не было. Во-вторых, как и в первом случае, изученный показатель был с 1 по 3 день выше в опытах, чем в контроле.

Этот результирующий эффект токсического влияния НП – итог взаимодействия одновременно протекающих процессов интоксикации и компенсаторно-адаптивных реакций живой системы. Компенсаторная реакция, представляющая собой ответ системы на дестабилизирующее воздействие, запаздывает во времени по отношению к нарастанию деструктивных последствий этого воздействия, но возрастает интенсивнее и имеет предельный уровень, определяемый свойствами и состоянием системы [15].

Трехфазное течение токсического процесса справедливо как для молоди, так и в отношении взрослых экземпляров [3].

Известно, что смерть рыб в острых и подострых случаях нефтяной интоксикации вызывается сочетанием двух стресс-факторов – гипоксии и резкого снижения энергетических запасов, в том числе гликогеновых. Это провоцируется непосредственным недостатком кислорода (НП в водной среде препят-

ствуют естественной аэрации и нарушают нормальные биологические процессы водоема), намеренным отсутствием в эксперименте пищи либо отказом рыб от питания, а также заглатыванием НП, т. е. прямым отравлением [3, 16, 17].

С одной стороны, токсикологические эксперименты на рыбах могут (а иногда это рекомендовано) проводиться без кормления. Это касается, прежде всего, холодного периода года, а также краткой экспозиции (острые и подострые опыты) [3]. Имеются сведения, что при долговременном голодании у рыб также происходит активизация работы антиоксидантной системы. Так, активность антиоксидантных ферментов в печени в течение 5 недель была выше контрольных значений, что позволило *Dentex dentex* восстановиться через 3 недели после возобновления кормления [18]. С другой стороны, в нашем случае, личинки рыб, являющиеся более чувствительными по отношению к разным факторам среды, могут преодолеть негативное действие невысоких концентраций токсиканта, по-видимому, если они будут обитать в более приближенных к натуральным условиям жизни и, в первую очередь, обеспечены пищевыми объектами (табл.).

Влияние низких концентраций дизельного топлива на потребление личинками атерины
науплиусов и цист артемии

Influence of low concentrations of diesel oil on Artemia consumption
by atherina larvae

Kuzmina N. S., Udodovich I. V., Sotetskiy R. A. Experimental effect of mazut and diesel oil on Atherina larvae

Стадия эксперимента	Количество личинок атерины	Размерно-весовые характеристики атерины			Количество потребленных науплиусов и цист артемии в 1 атерине	
		TL, мм	SL, мм	W, мг	Цисты	Науплии
Контроль – 1 сутки	15	$\frac{6.2-13.1^*}{9.2}$	$\frac{6.5-11.7}{8.5}$	$\frac{0.4-2.9}{1.5}$	$\frac{1-6}{2}$	0
Контроль – 2 сутки	18	$\frac{7.8-14}{10.3}$	$\frac{7.4-12.6}{9.3}$	$\frac{0.9-4.3}{1.6}$	$\frac{1-13}{4}$	2
Контроль – 3 сутки	21	$\frac{8.6-14.6}{11.7}$	$\frac{7.9-12.9}{10.5}$	$\frac{1.2-6.3}{3.8}$	$\frac{1-27}{6.7}$	0
К 1 – 1 сутки	9	$\frac{6.6-12.6}{10.3}$	$\frac{6.3-11.2}{9.4}$	$\frac{0.3-3.6}{2.0}$	$\frac{1-12}{2.6}$	0
К 1 – 2 сутки	8	$\frac{9.7-13.0}{11.3}$	$\frac{9.0-11.7}{10.3}$	$\frac{1.8-5.2}{3.2}$	$\frac{2-23}{7.8}$	$\frac{2-4}{2.7}$
К 1 – 3 сутки	9	$\frac{7.5-13.2}{10.5}$	$\frac{7.2-11.6}{9.6}$	$\frac{0.7-6.8}{3.2}$	$\frac{1-7}{1.2}$	0
К 2 – 1 сутки	11	$\frac{7.5-13.2}{10.5}$	$\frac{7.1-11.6}{9.6}$	$\frac{0.5-5.4}{1.8}$	$\frac{1-2}{0.3}$	$\frac{1-6}{2.8}$
К 2 – 2 сутки	8	$\frac{7.5-13.1}{10.7}$	$\frac{7.1-11.6}{9.8}$	$\frac{0.9-7.2}{2.2}$	$\frac{2-14}{2}$	$\frac{3-6}{4.5}$
К 2 – 3 сутки	7	$\frac{9.5-13.3}{11.7}$	$\frac{8.7-12.8}{10.7}$	$\frac{2.5-8.4}{4.4}$	0	0
К 3 – 1 сутки	16	$\frac{8.2-12.6}{10.9}$	$\frac{7.7-11}{9.7}$	$\frac{1.2-4}{2.2}$	$\frac{1-4}{0.3}$	0
К 3 – 2 сутки	14	$\frac{8.6-13.3}{11.6}$	$\frac{7.7-12.2}{10.6}$	$\frac{2-4.5}{3.1}$	$\frac{1-20}{2.4}$	$\frac{5-7}{6.0}$
К 3 – 3 сутки	6	$\frac{10.6-14.5}{12.1}$	$\frac{9.6-12.6}{10.9}$	$\frac{1.9-8.1}{4.3}$	0	0

*В числителе – диапазон значений, в знаменателе – среднее значение.

При отсутствии солярки личинки предпочитали потреблять цисты артемии (см. рис. 1, табл.), нежели науплиусов, причем к 3-му дню численность корма достигла максимальных величин. Сходная картина получена и в отношении воздействия самой малой концентрации дизельного топлива – 0,025 мл/л; при этом все-таки количество подвижной добычи увеличилось (2-е сутки). Интересным фактом оказалось то, что при влиянии ПДК НП и двойной ПДК в начале эксперимента атерина и охотилась, и потребляла цисты артемии, но к 3-му

дню кишечника были пустыми. Это, вероятно, также является частью компенсаторных реакций организма в ответ на присутствие токсиканта.

То, что личинки потребляли как науплиусов, так и цисты артемии (рис. 3), согласуется с литературными сведениями о полноценности яиц этих рачков в качестве распространённого стартового корма; однако быстрое оседание цист может вызывать их недоступность для планктонных личинок, если цисты не были предварительно высушены.



Рис. 3. Фото потребленных цист и науплиусов артемии в кишечниках атерины

Fig. 3. Photo of consumed cysts and nauplii of artemia in the intestines of atherina

В случае плохого (малого) выклева науплиусов цисты, если они не осели на дно, используются рыбами полноценно и оправданно, т. к. содержат липиды, железо, необходимые для развития молоди [12].

Как было отмечено ранее, вероятно, именно факт кормления оказал положительный эффект на выживаемость рыб, однако к 4-5 дню все особи погибли во всех вариантах, что все-таки свидетельствует о том, что в условиях эксперимента выедание цист, а не живого корма, а в последующем отказ от пищи приводят к скорой гибели.

Что касается самой концентрации нефтепродукта, то ранее было показано, что концентрация 0,05 мг/л – ПДК нефти для рыбохозяйственных водоемов – вызывает более мягкое воздействие на организм рыб за счет раннего включения компенсаторных механизмов [3]. Но после проведения многочисленных токсикологических экспериментов на взрослых рыбах автор [3] сделал заключение о безвредной концентрации нефти для черноморских рыб: 0,01 мг/л нефти не оказывала какого-либо эффекта на отклик организма на разных уровнях организации [3].

На основании проведенного литературного обзора по токсичности НП для икры, эмбрионов и личинок разных видов морских и пресноводных рыб авторы работы [5] подтверждают: концентрации НП, вызывающие токсическое или даже губительное действие на ранние стадии развития рыб, меньше ПДК для рыбохозяйственных водоемов: от 0,0004 до 0,0025 мг/л. Такое содержание водорастворимой фракции нефти приводит к снижению выживаемости и роста, изменению поведения и другим аномалиям, что в итоге отражается на здоровье популяции [5]. Например, выветренная нефть при концентрации ПАВ 0,0007 мг/л приводила к уродствам, генетическим отклонениям, водянке, снижению размеров у личинок сельди *Clupea pallasii* [19, 20]. От повышенных концентраций растворенных НП страдают и планктонные ракообразные [1], в природной среде являющиеся основным видом пищи для ранних стадий развития рыб, в том числе атерины [21],

что в конечном счете может привести к непосредственному отравлению разных представителей ихтиофауны и к накоплению НП в тканях рыб [16, 17]. Но есть сведения о том, что в нефтяной среде после выклева личинок кутума активность пищевого поведения была нормальной [22]. Следовательно, внесение концентраций нефти выше ПДК (до 0,2 мг/л), вызвавшие аномалии развития эмбрионов, морфологические изменения, замедленное сердцебиение, снижение размеров выклюнувшихся личинок [22], приводило к изменению направленности обменных процессов на обеспечение индивидуальной адаптации к изменившимся условиям среды.

Таким образом, тестированные концентрации дизельного топлива и мазута – 0,025; 0,05 и 0,1 мл/л – были токсичны для личинок атерины. Высокая токсичность солянки для личинок проявлялась и во втором эксперименте, когда особей кормили науплиусами артемии, что позволяет, наряду с данными Н. Д. Мазманиди (1997) [3] о безвредности для взрослых черноморских рыб концентрации нефти 0,01 мг/л, рекомендовать снижение ПДК. То, что при отсутствии пищи в контроле процент гибели рыб был высоким, а при ее наличии не превышал 50 %, также может служить предпосылкой к рекомендации кормления в токсикологических (даже краткосрочных) работах на молоди рыб.

Заключение

Тестированные концентрации дизельного топлива и мазута – 0,025; 0,05 и 0,1 мл/л – были токсичны для личинок атерины. Высокая токсичность солянки для личинок проявлялась и в эксперименте, когда особей кормили науплиусами артемии, что позволяет, наряду с данными Н. Д. Мазманиди (1997) о безвредности для взрослых черноморских рыб концентрации нефти 0,01 мг/л, рекомендовать снижение ПДК. С методической точки зрения следует проводить даже острые и краткосрочные токсикологические эксперименты с кормлением, т. к. это существенно влияет на определение степени токсичности среды или отдельного ксенобиотика.

Список источников

1. Абдусаматов А. С., Абдурахманов Г. М., Дохтукаева А. М., Дудурханова Л. А. Загрязнение мелководной прибрежной опресненной зоны и шельфа западной части Каспийского моря и его влияние на биоту и воспроизводство рыб // Юг России: экология, развитие. 2011. № 2. С. 37–62.
2. Евсеева А. И. Распределение компонентов нефтяного загрязнения по акватории северо-восточной части Черного моря в современный период // Современные вопросы экологического мониторинга водных и наземных экосистем: материалы Междунар. науч. конф. молодых ученых (Ростов-на-Дону, 26–29 октября 2015 г.). Ростов н/Д.: Изд-во Азов. НИИ рыб. хоз-ва, 2015. С. 86–87.
3. Мазманиди Н. Д. Экология рыб Черного моря и нефть. Батуми: Изд-во «Аджара», 1997. 147 с.
4. Лукьяненко В. И. Экологические аспекты ихтиотоксикологии. М.: Агропромиздат, 1987. 240 с.
5. Пряжевская Т. С., Черкашин С. А. Влияние нефтеуглеводородов на ранний онтогенез рыб // Изв. ТИПРО. 2007. Т. 149. С. 359–365.
6. Чесалина Т. Л., Руднева И. И., Кузьмина Н. С. Токсическое действие солянки на молодь черноморской кефали-остроноса *Liza saliens* // Вопр. ихтиологии. 2000. Т. 40, № 3. С. 429–432.
7. Dede E. B., Kaglo H. D. J. Aqua-toxicological Effects of Water Soluble Fractions (WSF) Of Diesel Fuel On *O. Niloticus* Fingerlings // Appl. Sci. Environ. Mgt. 2001. V. 5 (1). P. 93–96.
8. Болтачев А. П., Карпова Е. П. Морские рыбы Крымского полуострова. Симферополь: Бизнес-Информ, 2012. 224 с.
9. Световидов А. Н. Рыбы Черного моря. Л.: Наука, 1964. 550 с.

10. Губанов В. И., Стельмах Л. В., Клименко Н. П. Комплексные оценки качества вод Севастопольского взморья (Черное море) // Экология моря. 2002. Вып. 62. С. 76–80.

11. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: приказ Минсельхоза России от 13 декабря 2016 г. № 552 (ред. от 10.03.2020). URL: <https://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 21.11.2022).

12. Разова Л. Ф. Оценка биологических и репродуктивных особенностей артемии сибирских популяций: дис. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2022. 172 с.

13. Дука Л. А., Синюкова В. И. Руководство по изучению питания личинок и мальков морских рыб в естественных и экспериментальных условиях. Киев: Наукова думка, 1976. 134 с.

14. Кузьминова Н. С. Оценка токсического действия хозяйственно-бытовых сточных вод на организмы: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2006. 24 с.

15. Цуладзе В. Л. Бассейновый метод выращивания лососевых рыб: на примере радужной форели. М.: Агропромиздат, 1990. 156 с.

16. Кукин П. П., Пономарев Н. Л., Таранцева К. Р. и др. Основы токсикологии: учеб. пособие. М.: Абрис, 2012. 279 с.

17. Черкашин С. А. Отдельные аспекты влияния уг-

леводородов нефти на рыб и ракообразных // Вестн. ДВО РАН. 2005. № 3. С. 83–91.

18. Morales A. M., Perez-Jimenez A., Hidalgo M. C., Abellan E., Cardenete G. Oxidative stress and antioxidant defenses after prolonged starvation in *Dentex dentex* liver // Comparative biochemistry and physiology Part C. 2004. V. 139. P. 153–161. DOI: 10.1016/j.cca.2004.10.008.

19. Carls M. G., Marty G. D., Hose J. E. Synthesis of the toxicological impacts of the Exxon Valdez oil spill on Pacific herring (*Clupea pallasii*) in Prince William Sound, Alaska U.S.A. // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2002. V. 59. P. 153–172.

20. Carls M. G., Rice S. D., Hose J. E. Sensitivity of fish embryos to weathered crude oil. Part 1. Low level exposure during incubation causes malformations, genetic damage and mortality in larval Pacific herring (*Clupea pallasii*) // Environ. Toxicol. Chem. 1999. V. 18. P. 481–493.

21. Влодович И. В., Колесникова Е. А., Кузьминова Н. С., Рылькова О. А., Муханов В. С. Влияние качественного состава пищевых объектов на реакцию пищеварительных ферментов молоди *Atherinidae* в прибрежных водах Севастополя в летний период // Вопр. рыболовства. 2017. Т. 18, № 4. С. 499–506.

22. Газимагомедова И. К., Рабаданова М. М. Физиолого-биохимические показатели рыб в раннем онтогенезе при нефтяном загрязнении водной среды // Вестн. Дагестан. гос. ун-та. Сер. 1. Естественные науки. 2016. Т. 31. Вып. 4. С. 106–113.

References

1. Abdusamadov A. S., Abdurakhmanov G. M., Dokhtukaeva A. M., Dudurkhanova L. A. Zagriaznenie melkovodnoi pribrezhnoi opresnennoi zony i shel'fa zapadnoi chasti Kaspiiskogo moria i ego vliianie na biotu i proizvodstvo ryb [Pollution of shallow coastal desalinated zone and shelf of western part of Caspian Sea and its impact on biota and fish reproduction]. *Iug Rossii: ekologiya, razvitie*, 2011, no. 2, pp. 37–62.

2. Evseeva A. I. Raspredelenie komponentov neflianogo zagriazneniia po akvatorii severo-vostochnoi chasti Chernogo moria v sovremennyi period [Distribution of oil pollutants in water area of northeastern part of Black Sea in modern period]. *Sovremennye voprosy ekologicheskogo monitoringa vodnykh i nazemnykh ekosistem: materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii molodykh uchenykh (Rostov-na-Donu, 26–29 oktiabria 2015 g.)*. Rostov-on-Don, Izd-vo Azov. NIi ryb. khoz-va, 2015. Pp. 86–87.

3. Mazmanidi N. D. *Ekologiya ryb Chernogo moria i nefi'* [Ecology of Black Sea fish and oil]. Batumi, AO «Izdatel'stvo Adzhara», 1997. 147 p.

4. Luk'ianenko V. I. *Ekologicheskie aspekty ikhtiotoksikologii* [Ecological aspects of ichthyotoxicology]. Moscow, VO «Agropromizdat», 1987. 240 p.

5. Priazhevskaya T. S., Cherkashin S. A. Vliianie nefteuglevodorodov na rannii ontogenez ryb [Influence of petroleum hydrocarbons on early ontogenesis of fish]. *Izvestiia TINRO*, 2007, vol. 149, pp. 359–365.

6. Chesalina T. L., Rudneva I. I., Kuz'minova N. S. Toksicheskoe deistvie soliar na molod' chernomorskoj kefali-ostronosa *Liza saliens* [Toxic effect of solarium on juveniles of the Black Sea mullet *Liza saliens*]. *Voprosy ikhtiologii*, 2000, vol. 40, no. 3, pp. 429–432.

7. Dede E. B., Kagle H. D. J. Aqua-toxicological Effects of Water Soluble Fractions (WSF) Of Diesel Fuel On *O. Niloticus* Fingerlings. *Appl. Sci. Environ. Mgt.*, 2001, vol. 5 (1), pp. 93–96.

8. Boltachev A. R., Karpova E. P. *Morskije ryby Krymskogo poluoostrova* [Sea fish of Crimean Peninsula]. Simferopol', Biznes-Infurm Publ., 2012. 224 p.

9. Svetovidov A. N. *Ryby Chernogo moria* [Fish of Black Sea]. Leningrad, Nauka Publ., 1964. 550 p.

10. Gubanov V. I., Stel'makh L. V., Klimenko N. P. Kompleksnye otsenki kachestva vod Sevastopol'skogo vzmor'ia (Chernoje more) [Complex assessments of water quality in Sevastopol seaside (Black Sea)]. *Ekologiya moria*, 2002, iss. 62, pp. 76–80.

11. *Ob utverzhenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhoziaistvennogo znachenii, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh konsentratsii vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhoziaistvennogo znachenii: prikaz Minsel'khoza Rossii ot 13 dekabريا 2016 g. № 552 (red. ot 10.03.2020)* [On approval of water quality standards for fishery water bodies, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of fishery water bodies: order of the Ministry of Agriculture of Russia dated December 13, 2016 No. 552 (as amended on 10.03.2020)]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/420389120> (accessed: 21.11.2022).

12. Razova L. F. *Otsenka biologicheskikh i reproductivnykh osobennostei artemii sibirskikh populatsii. Dissertatsiia ... kand. biol. nauk* [Evaluation of biological and reproductive characteristics of Siberian Artemia populations]. Diss. ... Cand. Biol. Sci.]. Tiumen', 2022. 172 p.

13. Duka L. A., Siniukova V. I. *Rukovodstvo po izucheniiu pitaniia lichinok i mal'kov morskikh ryb v estestvennykh i eksperimental'nykh usloviakh* [Guidelines for studying nutrition of larvae and fry of sea fish in natural and experimental conditions]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1976. 134 p.

14. Kuz'minova N. S. *Otsenka toksicheskogo deistviia khoziaistvenno-bytovykh stochnykh vod na organizmy. Avtoreferat dis. ... kand. biol. nauk* [Evaluating toxic effect of domestic wastewaters on organisms]. Diss. Abstr. ... Cand. Biol. Sci.]. Moscow, 2006. 24 p.

15. Tsuladze V. L. *Basseinovyi metod vyrashchivaniia lososevykh ryb: na primere raduzhnoi foreli* [Basin method of growing salmon fish: case of rainbow trout]. Moscow, Agropromizdat, 1990. 156 p.

16. Kukin P. P., Ponomarev N. L., Tarantseva K. R. i dr. *Osnovy toksikologii: uchebnoe posobie* [Fundamentals of toxicology: textbook]. Moscow, Abris Publ., 2012. 279 p.

17. Cherkashin S. A. *Otdel'nye aspekty vliianiia uglevodorodov nefii na ryb i rakoobraznykh* [Aspects of influence of oil hydrocarbons on fish and crustaceans]. *Vestnik DVO RAN*, 2005, no. 3, pp. 83-91.

18. Morales A. M., Perez-Jimenez A., Hidalgo M. C., Abellan E., Cardenete G. Oxidative stress and antioxidant defenses after prolonged starvation in *Dentex dentex* liver. *Comparative biochemistry and physiology Part C*, 2004, vol. 139, pp. 153-161. DOI: 10.1016/j.cca.2004.10.008.

19. Carls M. G., Marty G. D., Hose J. E. Synthesis of the toxicological impacts of the Exxon Valdez oil spill on Pacific herring (*Clupea pallasii*) in Prince William Sound, Alaska U.S.A. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2002, vol. 59, pp. 153-172.

20. Carls M. G., Rice S. D., Hose J. E. Sensitivity of fish embryos to weathered crude oil. Part 1. Low level exposure during incubation causes malformations, genetic damage and mortality in larval Pacific herring (*Clupea pallasii*). *Environ. Toxicol. Chem.*, 1999, vol. 18, pp. 481-493.

21. Vdodovich I. V., Kolesnikova E. A., Kuz'minova N. S., Ryl'kova O. A., Mukhanov V. S. Vliianie kachestvennoy sostavy pishchevykh ob'ektov na reaktsiyu pishchevaritel'nykh fermentov molodi *Atherinidae* v pribrezhnykh vodakh Sevastopolia v letnii period [Influence of qualitative composition of food objects on reaction of digestive enzymes of *Atherinidae* juveniles in coastal waters of Sevastopol in summer]. *Voprosy rybolovstva*, 2017, vol. 18, no. 4, pp. 499-506.

22. Gazimagomedova I. K., Rabadanova M. M. Fiziologo-biokhimicheskie pokazateli ryb v rannem ontogeneze pri neftianom zagriaznenii vodnoi sredy [Physiological and biochemical parameters of fish in early ontogenesis with oil pollution of aquatic environment]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 1. Estestvennye nauki*, 2016, vol. 31, iss. 4, pp. 106-113.

Статья поступила в редакцию 21.12.2022; одобрена после рецензирования 27.02.2023; принята к публикации 23.03.2023
The article is submitted 21.12.2022; approved after reviewing 27.02.2023; accepted for publication 23.03.2023

Информация об авторах / Information about the authors

Наталья Станиславовна Кузьминова – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории хемозологии отдела морской радиационной и химической биологии; Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН; kunast@rambler.ru

Ирина Вячеславовна Вдодович – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник отдела планктона; Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН; vdodovich@mail.ru

Роман Александрович Солецкий – учащийся творческого объединения «Гидроэкология» ГБОУ ДО «Центр эколого-натуралистического творчества учащейся молодежи»; roma.soletskiy@mail.ru

Natalya S. Kuzminova – Candidate of Sciences in Biology; Senior Researcher of the Hemoecological Laboratory of the Department of Marine Radiation and Chemical Biology; A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS; kunast@rambler.ru

Irina V. Vdodovich – Candidate of Sciences in Biology; Senior Researcher of the Plankton Department; A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS; vdodovich@mail.ru

Roman A. Soletskiy – Student of Hydroecology Section of Environmentally-Educational Student Centre; roma.soletskiy@mail.ru

