

the toxicant were found in each species. A noticeable effect occurred 1 hour after the exposure to the maximum concentration of mercury. The effect became more pronounced a day later. The study of initial moments of the interaction of the toxicant and algae provided an opportunity to consider the primary response of inhibition or stimulation of the photosynthetic activity as an index of low resistance to the toxicant.

Bernhard, M., Zattera, A. Major pollutants in the marine environment. In: Marine pollution and marine waste disposal. Pergamon Press, 1975, p. 195-300.

Portmann, J. E. Results of acute toxicity tests with marine organisms using standard methods. In: Marine pollution and Sea Life. Fishing News (Books) Ltd., London, 1972, p. 212-216.

Stora, G. Computation of lethal concentrations. Mar. Poll. Bull., 1974, v. 5, No. 5, p. 69-71.

УДК 582.26:628.5

ТОКСИКОЛОГИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ КАСПИЙСКОЙ И АТЛАНТИЧЕСКОЙ ФАУНЫ

*С. А. Патин, В. К. Дохолян,
Н. С. Чернышев, А. М. Ахмедов*

Сведения о действии загрязняющих веществ на морские организмы сравнительно малочисленны, порой противоречивы и, что самое главное, относятся больше к гидробионтам какой-либо одной систематической группы или жизненной формы. Это затрудняет как оценку и прогнозирование биологических последствий загрязнения, так и обоснование предельно допустимых концентраций токсических веществ в морской среде.

В данной работе представлены экспериментальные материалы о действии ряда токсикантов (растворенных нефтепродуктов, хлорорганических веществ и тяжелых металлов) на некоторые виды каспийской и атлантической фауны, включая организмы планктона, нектона и бентоса. Перечень исследованных гидробионтов и основные условия постановки опытов приведены в табл. 1. Выбор планктонных и бентосных организмов определялся их распространенностью, преобладанием в рационе многих промысловых рыб и важной экологической ролью этих гидробионтов-фильтраторов в трансформации вещества и энергии в море.

Опыты ставились с учетом известных методических рекомендаций (Строганов, 1971, Portmann, 1972). Основными показателями токсичности, кроме выживаемости, служили также некоторые характеристики воспроизводства и поведения организмов в зависимости от времени экспонирования и концентрации токсических примесей.

В экспериментах с рыбами исследованы только развивающаяся икра и личинки некоторых важных в промысловом отношении видов, что связано с повышенной чувствительностью к поражающим воз-

Условия и параметры токсикологических экспериментов с морскими беспозвоночными и рыбами

Группа и организм	Стадия онтогенеза	Число экземпляров в каждом опыте	Длительность опытов, сут	Температура, °С	Соленость, ‰	Регистрируемые показатели
<u>Copepoda</u>	{ Взрослые Науплиусы	20-40	7	20±2	30±2	} LC_{50} ритмы размножения, морфологические аномалии
<i>Acartia tonsa</i>		40	7	20±2	30±2	
<i>Eurytemora affinis</i>	{ Взрослые Науплиусы	20-40	7	20±2	30±2	
		40	7	20±2	30±2	
<i>Calanipeda aquaedulcis</i>	{ Взрослые Науплиусы	20	15	22±2	10±1	
<u>Amphipoda</u>	Взрослые	20-30	30-40	22±2	10±1	} LC_{50} ритмы размножения и линьки, морфологические аномалии, накопление металлов
<i>Niphargoides maeoticus</i>						
<u>Mollusca</u> <i>Mytilaster lineatus</i> ; <i>Cardium lamarki</i> ; <i>Didacna trigonoides</i> ; <i>Monodacna caspica</i>	Взрослые	20	60	22±2	10±1	LC_{50} , накопление металлов

Группа и организм	Стадия онтогенеза	Число экземпляров в каждом опыте	Длительность опытов, сут	Температура, °С	Соленость, ‰	Регистрируемые показатели
<u>Pisces</u> <i>Trachurus trachurus</i>	Развивающаяся икра	150-200	5-10	20-23	25± 2	} LC_{50} на разных стадиях, морфологические аномалии, накопление металлов
	Личинки					
<i>Acipenser guldenstadti</i>	Развивающаяся икра	100-200	5-7	13-15	1-2	
<i>Salmo trutta caspius</i>	То же	50-200	60-70	5-7	1-2	
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	"	50-100	1,5-2		1-2	
<i>Rutilus frisii kutum</i>	"	50-100	7	13-15	1-2	
<i>Cyprinus carpio</i>	"	100-200	4-5	18-20	1-2	

действиям гидробионтов на ранних стадиях онтогенеза (Бочаров, 1975). Методические приемы получения икры, ее оплодотворения и инкубации существенно не отличались от известных в литературе (Строганов, 1971).

Информация, полученная при исследованиях динамики и уровней аккумуляции металлов в органах и тканях некоторых организмов с использованием метода атомно-абсорбционной спектрофотометрии (Морозов и др., 1974), служила дополнительной характеристикой токсического эффекта.

Экспериментальные данные обрабатывали с помощью пробит-анализа (Беленький, 1963; Stora, 1974), позволяющего получить на унифицированной основе количественную характеристику исследуемых эффектов в виде зависимости пробитов ("единиц вероятности", соответствующих каждому проценту смертности) от логарифма концентрации токсикантов. Проведенная через совокупность экспериментальных точек прямая в пробитной сетке координат наиболее точно и полно отражает зависимость эффекта от концентрации (дозы) вещества, а пересечение прямой с линией пробита 5 дает величину LC_{50} . Такой метод позволяет выразить экспериментальные данные в виде удобной для интерпретации линейной зависимости и, кроме того, дает возможность оценивать ширину диапазона, в пределах которого проявляется тот или иной эффект. Этот параметр легко оценить на графиках как угловой коэффициент α , пропорциональный тангенсу угла наклона экспериментальных прямых к оси абсцисс.

Результаты по действию токсикантов на исследованные виды копецод. отраженные в табл. 2 и на рис. 1, дают возможность выделить три группы токсикантов: наиболее токсичные вещества с $LC_{50} \leq 10$ мкг/л (метил-ртуть, ртуть - в виде ионов Hg^{2+} и полихлорированные бифенилы), вещества со средним уровнем токсичности с $LC_{50} \leq 500$ (свинец, кадмий, возможно, цинк и другие ингредиенты загрязнения) и мало токсичные LC_{50} в пределах 500-1000 мкг/л (нефть, вероятно, детергенты и другие ПАВ).

Токсичность метил-ртути выше, чем у неорганической ртути, что можно объяснить повышением прочности и скорости связывания белковых молекул с органическими формами ртути. Кроме того, токсический эффект полихлорированных бифенилов (ПХБ) в присутствии растворенных нефтепродуктов заметно усиливается, что, вероятнее всего, обусловлено повышением растворимости ПХБ в присутствии нефти и их более активным проникновением в клеточные структуры.

Опыты по действию металлов на каспийских бокопловов *Niphaogoides maoticus* сопровождались одновременным исследованием аккумуляции этих веществ в гидробионтах в течение 30-40 сут (рис. 2 и 3). Быстрее всего накапливаются медь и кадмий, равновесное распределение которых между организмами и средой достигалось в течение 10 сут при содержании металла в среде 10-100 мкг/л, несколько медленнее - ртуть.

Механизм накопления металлов сложен. В наших опытах наиболее вероятно преобладание непосредственного поглощения металлов поверхностью гидробионтов, так как существенной разницы в ре-

Таблица 2

Величины LC_{50} (в мкг/л) тяжелых металлов, нефти и полихлорированных бифенилов (ПХБ) для копепод в опытах длительностью 7-15 сут

Токсикант	Атлантические виды		Каспийский вид
	<i>Acartia tonsa</i>	<i>Eurytemora affinis</i>	<i>Calanipeda aquae dulcis</i>
Метил-ртуть	2,7 ± 0,8*	4,5 ± 1,0	-
Ртуть	10 ± 5	16 ± 6	≥ 10
Свинец	400 ± 150	250 ± 120	≥ 100
Кадмий	138 ± 53	500 ± 186	50
Нефть	250 ± 155	1000 ± 150	500
ПХБ	3,7 ± 3	10 ± 4	-
ПХБ + НП ^{***}	1,7 ± 0,5	5 ± 2	-

Примечание. Длительность опытов для атлантических видов - 7, для каспийских - 15 сут.

* Стандартное отклонение, оцененное по совокупности результатов для каждой серии опытов в соответствии с рекомендациями М.Л. Беленького (1963).

** Полихлорированные бифенилы в присутствии 250 мкг/л растворенных нефтепродуктов.

результатах опытов с кормлением бокоплавов и без него не обнаружено. О значительной роли биосорбционных явлений свидетельствует также заметное падение общего содержания металлов в бокоплавах после линьки.

Интересно и до сих пор мало исследовано закономерное снижение коэффициентов накопления в бокоплавах четырех металлов с увеличением их концентрации в морской воде (см. рис. 2), которое можно трактовать и с физико-химической, и с физиологической точек зрения. В первом случае уменьшение коэффициентов накопления - результат насыщения "сорбционной емкости" организма, которая зависит прежде всего от величины удельной поверхности и ее сорбционных свойств, во втором - можно допустить существование физиологического механизма регуляции содержания металлов в организме, который поддерживает допустимый уровень накопления и препятствует "избыточной" аккумуляции при повышении концентрации металла в среде. Какой из этих механизмов определяет картину накопления металлов, могут решить дальнейшие исследования.

Практически во всех сериях опытов по оценке действия металлов и нефтепродуктов на бокоплавов в разных стадиях развития ус-

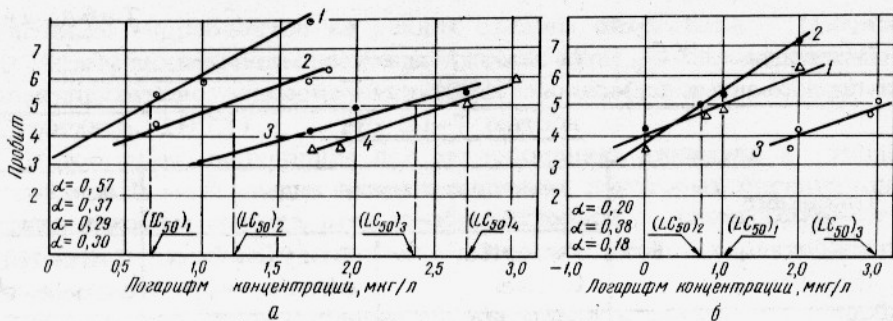


Рис. 1. Зависимость снижения численности (в единицах про- бит) популяции копепод *Eurytemora affinis* от концентрации добавленных к морской воде:

а - металлов: 1 - CH_3Hg ; 2 - Hg ; 3 - Pb ; 4 - Cd ; б - растворенных нефтепродуктов (НП) и полихлорированных бифенилов (ПХБ): 1 - ПХБ; 2 - ПХБ + 250 мкг/л НП; 3 - НП.

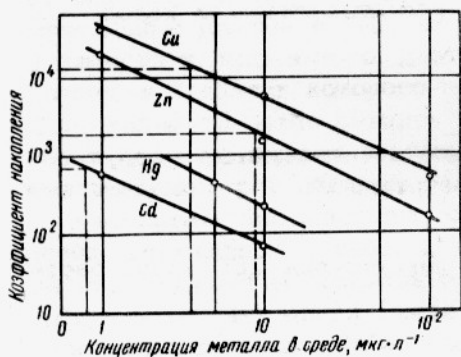


Рис. 2. Равновесные коэффициенты накопления металлов в каспийских бокоплавах *Niphargoides maeoticus* при разных уровнях содержания в воде добавленных металлов. Продолжительность опытов - 30 сут. Пунктиром отмечены абсциссы и ординаты, соответствующие природному содержанию металлов в воде.

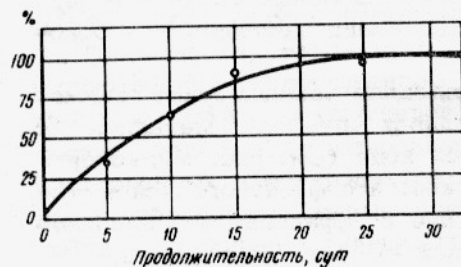
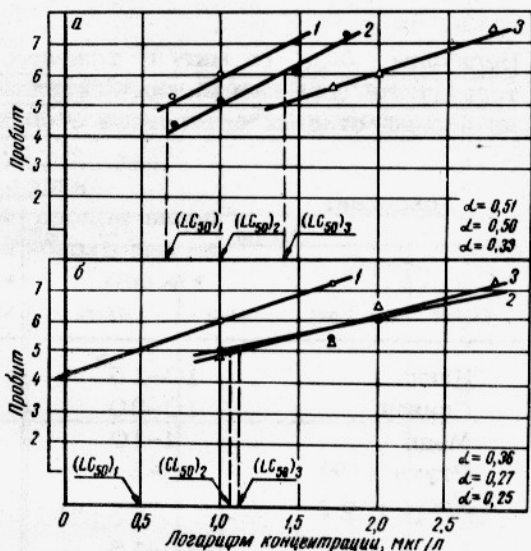


Рис. 3. Кинетика накопления ртути (концентрация в воде 5 мкг/л) в бокоплавах *Niphargoides maeoticus*. По оси ординат отложены относительные концентрации ртути в организмах по отношению к максимальному содержанию через 30 сут.

тойчивость организмов по показателям выживаемости закономерно падает при переходе от взрослых особей к ранним этапам развития. Различие достигает иногда 5-8 раз, как это было в экспериментах по действию цинка и нефти. Минимальная токсикорезистентность характерна для молодежи сразу после выхода из выводковой камеры. Некоторые примеры обработки экспериментальных данных по методу пробит-анализа приведены на рис. 4.

К числу характерных проявлений интоксикации при контакте ис-

Рис. 4. Зависимость σ снижения численности (в единицах пробит) бокоплавов *Niphargoides maoticus* от концентрации растворенных в морской воде нефтепродуктов (а), дизельного топлива (б) (продолжительность опытов - 30 сут, температура $22 \pm 2^\circ\text{C}$, соленость $10 \pm 1\text{‰}$): 1 - личинки; 2 - молодь; 3 - взрослые.



следованных организмов с высокими концентрациями исследованных веществ следует отнести резкие беспорядочные движения, расхождение спаренных особей, выброс личинок, иногда изменение пигментации. Отмечены также нарушения ритмов размножения и линьки. Интенсивность и частота всех этих аномалий, так же как и показателей выживаемости, коррелировали с концентрацией токсиканта и временем пребывания в токсической среде. Например, при концентрации растворенной нефти от 1 до 10 мг/л молодь бокоплавов погибала в течение 8-10 сут, тогда как при концентрации от 0,06 до 0,3 мг/л продолжительность опытов увеличивалась до 20 сут.

Показатели действия растворенных нефтепродуктов и ртути на двустворчатых моллюсков из Каспийского моря и LC_{50} для бокоплавов (табл. 3, 4) заметно меньше, чем аналогичные величины для копепоид (см. табл. 2) и литературные данные для соответствующих групп гидробионтов (см. сводку данных Bernhard, Zatter, 1975).

Основная причина этих расхождений состоит, по нашему мнению, в значительном различии длительности опытов. Опыты с каспийскими бокоплавками и двустворчатыми моллюсками длились 30-40 сут, т.е. в 2-3 раза дольше наших опытов с копеподами и во много раз дольше всех известных нам токсикологических работ с морскими ракообразными и моллюсками.

Это, вероятно, справедливо и для данных, приведенных в табл. 5, по развивающейся икре и личинкам атлантической ставриды *Trachurus trachurus* и ряду промысловых рыб Каспийского бассейна. Икра гибнет при уровнях содержания в воде некоторых из исследованных токсикантов (ртуть, ПХБ) - 1-10 мкг/л. Особенно выражена зависимость токсического действия от стадии развития рыб при действии тех токсикантов, которые не способны проникнуть в эмбрион через оболочку икринок и гораздо эффективнее поражают организм

Величины LC_{50} (в мкг/л) тяжелых металлов и растворенных нефтепродуктов для каспийских бокоплавов *Niphargiodes maoticus* на разных стадиях онтогенеза в опытах длительностью 30-40 сут

Токсикант	Молодь		Половозрелые особи
	после выхода из выводковой камеры	через 10-14 сут после выхода из выводковой камеры	
Цинк	10-15*	10-16	32-45
Свинец	10-30	24-50	32-55
Медь	4-10	10-12	12-18
Ртуть (+2)	5-8	10-15	10-15
Хром (+6)	-	1000**	1000**
Нефть	<10-15	10-15	25-50

* Интервал значений отражает разброс результатов, полученных в разных сериях опытов.

** Продолжительность опытов 15 сут.

Таблица

Величины LC_{50} (в мкг/л) ртути и растворенных нефтепродуктов для двустворчатых моллюсков из Каспийского моря в опытах длительностью 60 сут

Организм	Растворенные нефтепродукты	Ртуть
<i>Mytilaster lineatus</i>	-	<10
<i>Cardium lamarki</i>	100	-
<i>Didacna trigonoides</i>	100 - 200	<10
<i>Monodacna caspia</i>	100 - 200	<10

при переходе на личиночную стадию жизни. Именно поэтому LC_{50} ПХБ в 8 раз меньше для личинок по сравнению с икрой и, напротив, медь, ионные формы которой, вероятно, легче преодолевают барьер оболочки, имеет практически одинаковые показатели токсичности для икры и личинок.

Наибольшей резистентностью к действию всех веществ отличается карп, затем в порядке нарастания токсичности следуют толстолобик, кутум, осетр и лосось. Океаническая ставрида в таком ряду занимает промежуточное положение, хотя в отношении некоторых токсикантов порядок может, конечно, нарушаться. Токсико-

Таблица 5

Характеристики действия токсикантов на развивающуюся икру и личинки некоторых морских и пресноводных рыб (продолжительность опытов 2-7 сут)

Вид	растворенные нефтепродукты	Величина LC_{50} , мкг/г				
		ПХБ	свинец	цинк	ртуть	медь
<i>Trachurus trachurus</i> (икра)	-	20±4	140±50	-	-	25±5
<i>Trachurus trachurus</i> (личинки)	-	2,5±1,2	110±40	-	-	28±5
<i>Acipenser guldenstädti</i> (икра)			25		1-10	
<i>Salmo trutta caspius</i> * (икра)	10-20				1	
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (икра)	22-63		25-50	25-50	50	13-20
<i>Cyprinus carpio</i> (икра)	40-100		100-150	50-80	50	20-30
<i>Rutilus frisii kutum</i> (икра)			25-50		50	

* Продолжительность опытов 60-70 сут.

резистентность рыб на стадиях эмбриогенеза, возможно, коррелирует с аналогичной устойчивостью взрослых особей, во всяком случае в отношении карповых. Представители этого семейства давно известны как наиболее резистентные виды в отношении многих за-

Таблица 6

Характерные уровни накопления металлов в икре каспийских рыб (осетр, лосось, кутум) в конце эмбрионального развития перед выклевом

Металлы	Концентрация		
	в среде, мкг/л	в икре, мкг/г	
		опыт	контроль
Свинец	100-500	10-19	-
	0,1-4	-	1-2
Медь	10-100	4-28	-
	0,2-6	-	2-3
Кадмий	5-10	0,4-0,5	-
	0,2-1	-	0,1
Цинк	10-100	24-34	-
	10-20	-	3-4

Таблица 7

Коэффициенты накопления металлов развивающейся икрой и личинками осетра

Металл	Концентрация в среде, мкг/л	Коэффициент накопления (на сырую массу)	
		икра перед выклевом	личинки после выклева
Свинец	500	20	3,2
	100	19	1,0
Медь	10	360	550
	100	285	260
Кадмий	5	80	112
	10	45	24
Цинк	10	2400	3100
	100	305	250
Ртуть	5	13	16
	10	6	15

разняющих и токсических факторов среды (Крылов, 1971). По нашим данным, эта относительная резистентность карповых (карп, толстолобик) сохраняется среди исследованных видов и на стадиях эмбриогенеза.

Последняя группа данных (табл. 6 и 7) характеризует накопление ряда металлов в развивающейся икре каспийских рыб. Как и в опытах с бокоплавами, легко обнаружить общую тенденцию к снижению коэффициентов накопления по мере увеличения концентрации металлов в растворе.

Наибольший коэффициент накопления у цинка, затем в порядке

убывания следуют медь, кадмий, свинец и ртуть. За исключением ртути, этот ряд хорошо согласуется с физико-химическими особенностями поведения металлов в растворе. Одни из них (цинк, медь) образуют в природных водах хорошо растворимые, ионные и молекулярные формы, легко соединяющиеся в прочные комплексы с биосубстратами, тогда как для других (кадмия, свинца) характерны гидролизованные и взвешенные формы, едва ли способные проникнуть сквозь оболочку икринки.

ВЫВОДЫ

1. Для исследованных видов гидробионтов Каспийского моря и Атлантического океана обнаружена зависимость токсикорезистентности от стадии развития и длительности опытов. На ранних стадиях онтогенеза и с увеличением времени пребывания в токсической среде токсикорезистентность животных значительно снижались.
2. Длительное экспонирование гидробионтов в среде с токсикантом обычно нивелирует видовые и групповые различия реагирования по биологическим показателям, особенно на ранних стадиях развития. Исключение составляет согласованность токсикорезистентности некоторых видов рыб на ранних стадиях развития с аналогичной устойчивостью взрослых особей.
3. Диапазоны токсического действия исследованных веществ на морских животных в длительных опытах соизмеримы или меньше известных ПДК для воды рыбохозяйственных водоемов.
4. Обратная зависимость коэффициентов накопления ряда металлов от их концентрации в среде для некоторых ракообразных и икры рыб отражает как биосорбционные особенности поверхностных структур гидробионтов, так и возможную способность некоторых из них к регуляции содержания отдельных микропримесей в организме.

Список использованной литературы

- Беленький М.Л. Элементы количественной оценки фармакологического эффекта. Л., Медгиз, 1963. 110 с.
- Бочаров Ю.С. Некоторые вопросы токсикологии ранних этапов онтогенеза животных. - "Журнал общей биологии", 1975, т. 36, № 6, с. 847-858.
- Крылов О.Н. О некоторых чувствительных показателях и изменениях в системах организмов рыб при отравлении. - В кн.: Методика биологических исследований по водной токсикологии. М., 1971, с. 112-119.
- Морозов Н.П., Тихомирова А.А., Николенко Е.М. Опыт определения микроэлементного состава морских гидробионтов. - "Труды ВНИРО", 1974, т. 100, с. 28-31.
- Строганов Н.С. Методика определения токсичности водной среды. - В сб. "Методики биологических исследований по водной токсикологии", М., 1972, с. 14-60.

TOXICOLOGY OF SOME SPECIES OF FAUNA FROM THE CASPIAN SEA AND ATLANTIC OCEAN

S. A. PATIN, V. K. DOKHOLYAN, N. S. CHERNYSHEV, A. M. AHMEDOV

SUMMARY

Oil products dissolved in water, chlororganic substances and heavy metals make impact upon certain species of Caspian and Atlantic crustaceans (copepods, amphipods) and fish (eggs and larvae). Their sensitivity to low levels of toxicants in the environment (up to 1-10 mkg/liter) is high. The toxic resistance is dependent upon the stages of ontogenesis and duration of experiments. The absorption factors of lead, cadmium, copper, zinc and mercury in amphipods are inversely proportional to their concentration in the environment.

Absi, M., Cabridence, R., Lundahl, P. Evaluation des nuisances resultant des polluants au moyen d'un test « daphnie ». Trib. CEBEDEAU 1975, v. 28, No. 381, p. 304-307.

Brown, B., Ahsanullah, M. Effect of heavy metals on mortality and growth. Mar. Pollut. Bull., 1971, v. 2, No. 12, p. 182-187.

Corner, E. D. S., Sparrow B. W. The modes of action of toxic agents. 1. Observations on the poisoning of certain crustaceans by copper and mercury. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 1956, v. 35, p. 459-472.

Grosch, D. S. Poisoning with DDT: effect on reproductive performance of Artemia. Science, 1967, v. 155, p. 592-593.

Tarpley, W. A. Studies on the use of the brine shrimp Artemia salina (Leach) as a test organism for bioassay. J. Econ. Entom., 1958, v. 51, p. 780-783.

УДК 582.26:628.5

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ТОКСИКАНТОВ НА ОНТОГЕНЕЗ

ARTEMIA SALINA

С. А. Патин, А. О. Гроздов,
Л. Е. Айвазова, А. И. Старцева

Большинство известных к настоящему времени работ по токсикологии зоопланктонных организмов относятся преимущественно к пресноводным формам, особенно к ветвистоусым рачкам из рода *Daphnia*. Эти виды отличаются повышенной чувствительностью к токсическому действию. Некоторых из них (*D. magna*, *D. pulex*) предлагают использовать в качестве основного тест-объекта при решении вопроса о предельно допустимой концентрации загрязняющих веществ в водной среде (Строганов, 1976) и при сравнительной оценке токсичности некоторых загрязнителей (Absi et al., 1975). Морские зоопланктонные формы изучены в этом плане гораздо слабее, вероятно, из-за трудностей культивирования морских организмов в лабораторных условиях.

Интерес к *Artemia salina* как объекту токсикологических ис-

Уважаемые читатели!

Редколлегия тома и издательство "Пищевая промышленность" приносят свои извинения за допущенные в томе погрешности. В томе неправильно заверстаны иностранные источники в списках использованной литературы - после *Summary* ; кроме того, они сдвинуты на одну статью: относящиеся к первой статье заверстаны после предисловия, относящиеся ко второй - после первой и так далее. Помимо этого, допущен ряд опечаток.

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
82	Рисунок, на оси ординат подпись к рисунку, 2-я строка снизу	мг/кг сырого вещества морская вода.	% сырого вещества вода
78	7-я снизу	... 2 раза	...в двух повторностях
	5-я снизу	... к воде...	...в воду...
99	13-я снизу	... в I;7;10...	...в I,7; 10...
III	6 и 7-я снизу	... у плотвы сибирской популяции...	...популяции сибирской плотвы...
II6	23,24,25-я снизу	0 - ширина лба; i_0 - длина нижней... l_{mk} - расстояние от... a_0 - расстояние между...	i_0 - ширина лба; l_{mk} - длина нижней... a_0 - расстояние от... p_1 - расстояние между...