

УДК 574.2

В.А. Чаплыгин¹, А.С. Танасова², Т.С. Ершова², В.Ф. Зайцев²

¹ Каспийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства,
4414056, г. Астрахань, ул. Савушкина, 1

² Астраханский государственный технический университет,
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ АККУМУЛЯЦИИ ЦИНКА И РТУТИ ГИДРОБИОНТАМИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Изучены особенности миграции цинка и ртути в компонентах пищевой цепи Каспийского моря. Установлено, что цинк не аккумулируется по трофической цепи экосистемы Каспийского моря, тогда как миграция ртути в гидробионтах происходит с повышением трофического уровня.

Ключевые слова: гидробионты, ртуть, цинк, биоаккумуляция, бентофаги.

V.A. Chaplygin, A.S. Tarasova, T.S. Ershova, V.F. Zaitsev

THE STUDY OF PECULIARITIES OF ACCUMULATION OF ZINC AND MERCURY BY AQUATIC ORGANISMS OF THE CASPIAN SEA

Studied zinc and mercury migration features in components of the food chain of the Caspian Sea. It has been established that zinc does not accumulate in the food chain of the Caspian Sea ecosystem, whereas mercury migration hydrobionts occurs with increasing trophic level.

Key words: aquatic organisms, mercury, zinc, bioaccumulation, bentofag.

Введение

Каспийское море – уникальный водоем планеты со своеобразными условиями среды. Экосистема Каспия подвержена загрязнению, в том числе и тяжелыми металлами, основную долю которых привносит речной сток. Металлы в небольших концентрациях входят в состав любого организма и участвуют в различных процессах метаболизма. Поступление из внешней среды их избыточных количеств может привести к токсическим эффектам и нарушению жизнедеятельности [1, 2].

Многие гидробионты, являющиеся ценнейшими реликтовыми видами, чувствительно реагируют на загрязнение воды. К таковым относятся, например, русский осетр (*Acipenser gueldenstaedtii*), персидский осетр (*Acipenser persicus*) и каспийский тюлень (*Phoca caspica*), находящиеся на грани исчезновения. Известно, что русский и персидский осетры, являясь бентосоядными рыбами, способны занимать частично уровень хищников, потребляя рыбу. При этом в число кормовых объектов входят килька, сельди, атерина и бычки. Как и каспийский тюлень, они могут занимать верхние уровни трофических пирамид, накапливая в своих органах и тканях микроэлементы кормовых организмов. При этом основную нагрузку по аккумуляции микроэлементов берет на себя печень, которая является функциональным депо многих металлов и характеризуется высокой метаболической активностью, в которой происходит фильтрация и трансформация веществ [1, 3].

Различия в пищевых спектрах организмов значительно сказываются на биодоступности металлов, так как планктофаги, бентофаги и хищники, обитая в одних и тех же условиях, аккумулируют тяжелые металлы в разной степени [4].

Целью настоящих исследований являлось определение уровней содержания цинка и ртути в печени русского и персидского осетров и в их основных пищевых объектах (килька *Clupeonella cultriventris caspia*, бычок-песочник *Neogobius fluviatilis*, атерина каспийская *Atherina boyeri caspica* и др.), а также в печени каспийского тюленя.

Объекты и методы исследований

Образцы проб органов и тканей рыб и каспийского тюленя были получены в результате экспедиций в период с 2011 по 2017 гг.

При определении металлов использовали атомно-абсорбционный спектрометр с электротермической атомизацией МГА-915 МД. Концентрацию цинка выражали в миллиграммах на килограмм сухого веса, а ртути – в миллиграммах на килограмм сырого веса. Полученные результаты подвергали статистической обработке. За основу были взяты ПДК, Санитарные правила и нормы СанПиН 2.3.2.560-96 «Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов» [5].

Результаты и их обсуждения

Цинк является жизненно важным элементом. Он входит в состав ряда металлоферментов и участвует во многих метаболических процессах [1]. Основная масса всосавшегося из кишечника цинка поступает в печень, а затем попадает в кровь и остальные органы и ткани [3]. Распределение цинка в объектах исследования представлено на рис. 1. Среди пищевых ресурсов осетровых рыб наибольшим значением в отношении цинка отличалась килька (194,63 мг/кг сухого вещества соответственно). Наименьшее количество этого металла было обнаружено в бычках (59,11 мг/кг сухого вещества). В то же время в печени русского и персидского осетров концентрация цинка была практически одинаковой и составляла приблизительно 70 мг/кг сухого вещества. Это значение несколько ниже, чем в атерине (88,2 мг/кг сухого вещества) и практически в 3 раза ниже, чем в кильке.

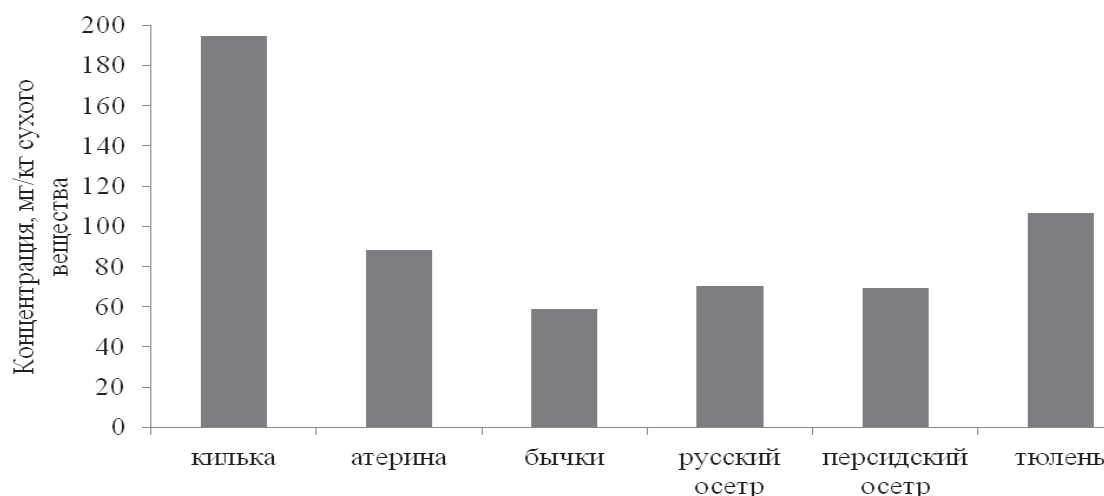


Рис. 1. Накопление цинка в гидробионтах Каспийского моря
Fig. 1. The accumulation of zinc in the aquatic organisms of the Caspian sea

Что еще раз доказывает тот факт, что цинк не способен аккумулироваться по пищевой цепи, а накапливается с возрастом организмов, так как он обладает высокой биофильностью и подвержен интенсивному биологическому накоплению в тканях рыб [3, 6]. Повышенные концентрации цинка оказывают токсическое влияние на живые организмы, приводя к физиологическим и биохимическим нарушениям. При этом следует отметить, что токсичность цинка для рыб во много раз сильнее, чем для теплокровных животных [7].

Анализ коэффициентов накопления цинка (табл. 1) свидетельствует о большем его содержании в трофических звеньях, базирующихся на ракушечных грунтах. Наибольшее значение аккумуляции цинка было зафиксировано в звеньях трофической системы на илистых грунтах. Коэффициенты накопления цинка во всех исследованных грунтах возраста-

ют в системе «грунт–моллюски–бентосоядные рыбы (бычки, вобла)», причем аккумуляционная способность воблы в 1,5 раза превосходила таковую бычков. Дальнейшая миграция цинка по трофической цепи не происходит.

Таблица 1

Коэффициенты накопления цинка в некоторых звеньях трофической цепи

Table 1

Zinc accumulation factors in some links of the trophic chain

Хищники (тюлень, сельдь черноспинка, долгинская сельдь) × 6
Планктофаги (килька, атерина) × 13
Бентофаги (вобла, бычок каспийская пуголовка, персидский осетр, русский осетр) × 8
Моллюск дидакна × 5
Илистый грунт × 1
Хищники (тюлень, сельдь черноспинка, долгинская сельдь) × 7
Планктофаги (килька, атерина) × 12
Бентофаги (вобла, бычок каспийская пуголовка, персидский осетр, русский осетр) × 10
Моллюск дидакна × 7
Песчаный грунт × 1
Хищники (тюлень, сельдь черноспинка, долгинская сельдь) × 17
Планктофаги (килька, атерина) × 24
Бентофаги (вобла, бычок каспийская пуголовка, персидский осетр, русский осетр) × 25
Моллюск дидакна × 16
Ракушечный грунт × 1

Необходимо отметить, содержание цинка во всех изученных видах рыб превышает уровень ПДК для пищевых объектов (40 мг/кг). Так, например, в организме кильки эти значения превышают предельно установленные показатели почти в 5 раз, а в атерине – более чем в 2 раз. Причиной этому, вероятно, является большое содержание данного металла в воде и донных отложениях. Повышенные концентрации цинка оказывают токсическое влияние на живые организмы, приводя к физиологическим и биохимическим нарушениям. В больших концентрациях цинк является канцерогеном. При этом следует отметить, что токсичность цинка для рыб во много раз сильнее, чем для теплокровных животных [7]. Кроме того, цинк обладает синергическими свойствами совместно с медью.

Уровень аккумуляции цинка в печени каспийского тюленя составляет 106,7 мг/кг сухой массы, что ниже, чем в организме кильки (почти в 2 раза), но при этом выше, чем в бычках и атерине (в 1,8 и 1,2 раза соответственно).

Достаточно невысокие значения цинка в печени изученных осетровых видов рыб и тюленя на фоне таковых кильки и атерины, возможно, связано с тем, что в условиях загрязненности цинком обеспеченность этим металлом в печени снижалась, что объясняется патологическим перерождением органа и снижением содержания эссенциального элемента на единицу массы, так и замещением цинка другими металлами [1, 8].

По содержанию цинка исследованные гидробионты можно расположить в следующем убывающем порядке: килька > каспийский тюлень > атерина > русский осетр > персидский осетр > бычки.

Среди тяжелых металлов ртуть относится к элементам с высокой степенью токсичности, которая способна накапливаться в живых организмах, при этом уровень аккумуляции элемента повышается по пищевой цепи [1].

В печени русского и персидского осетров концентрация ртути составляет 0,142 и 0,201 мг/кг сырого вещества соответственно. Бентофаги русский и персидский осетры могут питаться всеми рассмотренными выше организмами, поэтому, чем выше ассортимент, тем больше аккумуляция ртути (рис. 2).



Рис. 2. Накопление ртути в гидробионтах Каспийского моря
Fig. 2. The accumulation of mercury in aquatic organisms of the Caspian sea

Выявлено, что аккумуляционная способность печени персидского осетра в 1,4 раза выше, чем у печени русского осетра. Несмотря на то, что вобла питается преимущественно моллюсками, концентрация ртути в ней более чем в 2 раза больше, чем у бычков, которые способны потреблять и мелкую рыбу.

Ниже представлена схема накопления ртути в некоторых звеньях трофической цепи (табл. 2).

Таблица 2
Коэффициенты накопления ртути в некоторых звеньях трофической цепи
Table 2
Mercury accumulation factors in some links of the trophic chain

Хищники (тюлень) × 481
Планктофаги (килька, атерина) × 2
Бентофаги (вобла, бычок каспийская пуголовка, персидский осетр, русский осетр) × 12
Моллюск дидакна × 1
Илистый грунт × 1
Хищники (тюлень) × 2000
Планктофаги (килька, атерина) × 10
Бентофаги (вобла, бычок каспийская пуголовка, персидский осетр, русский осетр) × 50
Моллюск дидакна × 5
Песчаный грунт × 1
Хищники (тюлень) × 440
Планктофаги (килька, атерина) × 2
Бентофаги (вобла, бычок каспийская пуголовка, персидский осетр, русский осетр) × 11
Моллюск дидакна × 1
Ракушечный грунт × 1

Несмотря на то, что ракушечные грунты аккумулируют ртуть в большей степени, чем другие виды грунтов, тем не менее аккумуляционная способность организмов данного металла выше на песчаных грунтах.

Наименьший уровень аккумуляции ртути наблюдался у моллюсков. Их коэффициент накопления по отношению к грунтам составлял 1 (на илистом и ракушечном грунтах) и 5 (на песчаном). Несмотря на то, что вобла питается преимущественно моллюсками [9], концентрация ртути в ней более чем в 2 раза больше, чем у бычков, которые способны потреблять и мелкую рыбу. Бентофаги русский и персидский осетры могут питаться всеми рассмотренными выше организмами. Выявлено, что аккумуляционная способность печени персидского осетра в 1,4 раза выше, чем у печени русского осетра. Наибольших значений ртуть достигает в печени каспийского тюленя [10, 11]. Коэффициент накопления металла в ней на песчаных грунтах составляет 2000, что в 5 раз больше, чем на других видах грунтов (среднее значение по грунтам – 460).

В ходе проведенных исследований выявлено, что концентрация ртути в исследованных видах рыб невелика и не превышает установленных норм в России (для морских рыб – 0,5 мг/кг сырой массы).

Выводы

На основании приведенных выше данных следует, что аккумуляция тяжелых металлов является видовой особенностью рыб и зависит от физиологических характеристик рыб и факторов среды различных экологических ниш, которые занимают эти виды, а также от свойств аккумулируемых металлов. Цинк не аккумулируется по трофической цепи экосистемы Каспийского моря. Тогда как миграция ртути в организмах происходит с повышением трофического уровня.

Список литературы

1. Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Гашкина Н.А. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. М.: Наука, 2006. 261 с.
2. Немова Н.Н., Высоцкая Р.У. Биогеохимическая индикация состояния рыб. М.: Наука, 2004. 212 с.
3. Войнар А.И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М.: Высш. шк., 1960. 554 с.
4. Давыдова О.А., Климов Е.С., Ваганова Е.С., Ваганов А.С. Влияние физико-химических факторов на содержание тяжелых металлов в водных экосистемах. Ульяновск: УлГТУ, 2014. 167 с.
5. Санитарные правила и нормы. Продовольственное сырье и пищевые продукты. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2. 560-96. М.: Госкомэпиднадзор России, 1996. 269 с.
6. Соболев К.Д. Особенности накопления тяжелых металлов в органах и тканях рыб различных экологических групп // Современные проблемы водной токсикологии. Борок: РАН, 2005. С. 128–129.
7. Метелев В.В., Канаев А.И., Дзасохова Н.Г. Водная токсикология. М.: Колос, 1971. 246 с.
8. Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния. М.: Мир, 1987. 286 с.

9. Иванов В.П., Егорова В.И., Ершова Т.С. Ихтиология. СПб.: Изд-во «Лань», 2017. 360 с.

10. Чаплыгин В.А., Ершова Т.С., Зайцев В.Ф. Миграция ртути по пищевым цепям гидробионтов в Каспийском море // Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России: материалы XVIII Междунар. науч. конф. Грозный: Академия наук ЧР, 2016. С. 388–391.

11. Zaitsev V., Ershova T. The content of mercury and cadmium in the bodies of the Caspian seal (*Phocacaspica*, Gmelin, 1788) // International Scientific Conference on Ecological Crisis: Technogenesis and Climate Change. Beograd 21 – 23 April 2016. P. 129–130.

Сведения об авторах: Чаплыгин Владимир Александрович, младший научный сотрудник, e-mail: wladimirchap@yandex.ru;

Танасова Анастасия Сергеевна, аспирант, e-mail: tanasova_a_s@mail.ru;

Ершова Татьяна Сергеевна, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: ershova_ts@mail.ru;

Зайцев Вячеслав Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, e-mail: viacheslav-zaitsev@yandex.ru.