

# СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТКАНЯХ И ОРГАНАХ РЫБ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

М. В. Алексеева<sup>1</sup>, А. В. Тюнев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ветеринарный врач, ФГБУ «ЦНМВЛ», г. Москва, e-mail: allamarya@mail.ru

<sup>2</sup> Младший научный сотрудник, ФГБУ «ВГНКИ», г. Москва, e-mail: atunes6f@mail.ru

## РЕЗЮМЕ

Проведена оценка содержания кадмия, мышьяка, свинца и ртути в органах и тканях пресноводных и морских видов рыб, обитающих в Балтийском море. Выявлены особенности распределения токсичных элементов в органах и тканях рыб: пресноводных (краснопёрки *Scardinius erythrophthalmus*, леща обыкновенного *Abramis brama*, окуня обыкновенного *Perca fluviatilis*, сома обыкновенного *Silurus glanis*, карася золотого *Carassius carassius*, линя *Tinca tinca*, густеры *Blicca bjoerkna*, щуки обыкновенной *Esox lucius*) и морских (скумбрии атлантической *Scomber scombrus*, сельди балтийской *Clupea harengus membras*, лосося балтийского *Salmo salar*, путассу *Micromesistius*, трески балтийской *Gadus morhua callarias*, балтийского шпрота *Sprattus sprattus balticus*), а также видовая специфика в аккумуляции изучаемых элементов. Установлено, что анализируемые органы (печень) и ткани (мышцы) накапливают различные токсичные элементы в разной степени. Содержание Cd, Pb, As, Hg в органах и тканях рыб не превышает ПДК. Распределение их в организме рыб характеризуется неравномерностью и зависит от функциональных особенностей органов, кумулятивной активности и химических свойств элемента. Среди исследованных рыб максимальная кумулятивная способность наблюдалась у фитофагов и бентофагов, что вызвано высоким содержанием токсичных элементов в рационе. Следующие в ряду, в связи с особенностями питания, – хищные рыбы. Высокое содержание Cd, As, Pb, Hg в организме рыб свидетельствует об их значительной концентрации в среде обитания, аккумуляции в пищевых цепях, функциональном нарушении в экосистеме.

Ключевые слова: токсичные элементы, гидробионты, аккумуляция, кадмий, мышьяк, ртуть, свинец.

UDC 619:637.56:615.91

# CONTENT AND CHARACTERISTICS OF TOXIC ELEMENT DISSEMINATION IN TISSUES AND ORGANS OF THE BALTIC SEA FISH

M. V. Alexeyeva<sup>1</sup>, A. V. Tyunev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Veterinarian, FGBI "CSMVL", Moscow, e-mail: allamarya@mail.ru

<sup>2</sup> Junior Researcher, FGBI "VGNKI", Moscow, e-mail: atunes6f@mail.ru

## SUMMARY

Cadmium, arsenic, plumbum and mercury content in organs and tissues of the Baltic Sea fish was analyzed. Characteristics of toxic elements dissemination in organs and tissues of the following fish species: freshwater fish (redestye *Scardinius erythrophthalmus*, bream *Abramis brama*, perch *Perca fluviatilis*, cat fish *Silurus glanis*, crucian carp *Carassius carassius*, tench *Tinca tinca*, white bream *Blicca bjoerkna*, pike *Esox lucius*) and sea fish (mackerel *Scombers combrus*, herring *Clupea harengus membras*, salmon *Salmo salar*, poutassou *Micromesistius*, cod *Gadus morhua callarias*, Baltic sprat *Sprattus sprattus balticus*), as well as species specificity in accumulation of elements under study were identified. It was determined that tested organs (liver) and tissues (muscles) accumulate different toxic elements to a different extent. Cd, Pb, As, Hg content of in fish organs and tissues does not exceed MRL. Their distribution in a fish body is unequal and depends on functional characteristics of organs, cumulative activity and element chemical properties. Among the tested tissues the greatest ability to accumulate was observed in phytophages and benthophages which is caused by high content of toxic elements in their diet. The next are predatory fish species due to their diet peculiarities. High Cd, As, Pb, Hg content in fish is indicative of their considerable concentration in habitat, accumulation in food chains and functional deficiencies in the ecosystem.

Key words: toxic elements, hydrobionts, accumulation, cadmium, arsenic, mercury, plumbum.

## ВВЕДЕНИЕ

Безопасность продуктов питания – сложная комплексная проблема, требующая многочисленных усилий для ее решения со стороны не только ученых (биохимиков, микробиологов, токсикологов и др.), но и производителей, санитарно-эпидемиологических служб, государственных органов и потребителей. Под безопасностью продуктов питания следует понимать отсутствие опасности для здоровья человека при их

употреблении, как с точки зрения острого негативно-го воздействия (пищевые отравления и пищевые инфекции), так и с точки зрения возможности отдаленных последствий (канцерогенное, мутагенное и тератогенное действие) [1]. Иными словами, безопасными можно считать продукты питания, не оказывающие вредного, неблагоприятного воздействия на здоровье настоящего и будущих поколений.

Токсичные элементы по-прежнему остаются одной из приоритетных групп загрязняющих веществ, имеющих как локальное и региональное, так и глобальное распространение [2]. Особенно характерна проблема загрязнения токсичными элементами для акваторий, в которых замедлен водообмен. Так, Балтийское море представляет собой глубоко вдающуюся в материк акваторию, относящуюся к бассейну Атлантического океана и связанную с Мировым океаном только узкими проливами. Полное обновление воды может произойти в среднем за 30–50 лет [3]. Эта полузамкнутость обуславливает его чрезвычайную чувствительность к антропогенному воздействию. Балтийское море служит приемным бассейном более чем двухсот рек. Более половины общей площади его бассейна дренируют крупнейшие реки: Нева, Висла, Западная Двина (Даугава), Неман (Нямунас), и именно в них поступает большая часть загрязняющих веществ, образующихся в результате антропогенной деятельности на прилегающих территориях. Ртуть, свинец, медь, цинк, кобальт, никель попадают в воды Балтики в основном с атмосферными осадками, в меньшей степени – при прямом сбросе в акваторию или с речным стоком бытовых и промышленных отходов. Количество меди, поступающей в акваторию, составляет ежегодно около 4 тысяч тонн, свинца – 3 тысячи тонн, кадмия – около 50 тонн, а ртути – 33 тонны на 21 тысячу км<sup>3</sup> водного объема акватории. Поступая в избытке и во много раз превосходя индивидуальные потребности организма, соединения токсичных элементов могут вызывать нарушения различных функций гидробионтов, накапливаясь в их органах, превышая нормируемые величины [4]. Поэтому контроль содержания их в организме рыб является актуальной задачей.

При исследованиях необходимо принимать во внимание следующее: геоморфологический и литологический факторы, а также загрязнение из внешних источников, вид рыбы, ее размер, возраст, особенности развития, половая зрелость, соленость воды, климат и самый важный фактор – рацион питания, который зачастую невозможно отследить [7]. Корма для рыб очень разнообразны по составу, необходимо учитывать широту географии их использования. Так, в работе Hartwig A. и соавт. указывают на то, что следовые элементы позволяют достоверно определять географическое происхождение, проводить видовую идентификацию рыбы, однако для этого необходимо применение современных хемометрических процедур (например, линейный и дисперсионный анализ), которые обеспечат высокую достоверность результатов идентификации [6].

Целью работы являлось определение содержания и выявление общих тенденций распределения токсичных элементов (Cd, As, Hg, Pb) в органах промысловых рыб различных экологических зон акватории Балтийского моря.

Для этого сформулированы и решены следующие задачи: определены концентрации токсичных элементов в тканях и органах пресноводных (красноперки *Scardinius erythrophthalmus*, леща обыкновенного *Abramis brama*, окуня обыкновенного *Perca fluviatilis*, сома обыкновенного *Silurus glanis*, карася золотого *Carassius carassius*, линя *Tinca tinca*, густеры *Blicca bjoerkna*, щуки обыкновенной *Esox lucius*) и морских (скумбрии атлантической *Scomber scombrus*, сельди балтийской *Clupea harengus membras*, лосося балтийского *Salmo salar*, путассу *Micromesistius*, трески балтийской *Gadus morhua callarias*, балтийского шпрота

*Sprattus sprattus balticus*) видов рыб; установлены закономерности распределения исследуемых элементов в органах, обусловленные биологическими и экологическими особенностями; выявлена видовая специфика накопления токсичных элементов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данная работа выполнялась в химико-токсикологическом отделе ФГБУ «ЦНМВЛ» (г. Москва). В качестве объектов исследования были выбраны пресноводные и морские виды рыб: донные, придонно-пелагические и пелагические.

Отбор рыбы проводили непосредственно в местах лова, в том числе на траулерах. Пробы отбирали в соответствии с «Методическими указаниями по отбору проб пищевой продукции животного и растительного происхождения, кормов, кормовых добавок с целью лабораторного контроля их качества и безопасности». Точечные пробы отбирали с учетом размеров рыбы от партии мелкой рыбы – целыми тушами: до 6 рыб при массе одного экземпляра от 0,1 до 0,5 кг; 3 рыбы – при массе экземпляра от 0,5 до 1,0 кг. Образцы рыбы исследовали в соответствии с британским стандартом BS EN 15763:2009 «Пища. Определение микроэлементов. Определение мышьяка, кадмия, ртути и свинца в пищевых продуктах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой с предварительной минерализацией пробы под давлением». Исследования по определению токсичных элементов проводились на масс-спектрометре ELAN DRC (PerkinElmer, США).

Пробоподготовку осуществляли путем мокрого озоления согласно ГОСТ 31671-2012 «Продукты пищевые. Определение следовых элементов. Подготовка проб методом минерализации при повышенном давлении». Для кислотной минерализации использовали концентрированную азотную кислоту (массовая доля 65%) и перекись водорода (массовая доля 30%). Навеску брали массой 300–400 мг, руководствуясь инструкцией производителя микроволновой системы. Для минерализации проб в реакционный сосуд вносили 4 см<sup>3</sup> азотной кислоты и 2 см<sup>3</sup> перекиси водорода. Полученный минерализат сливали в пластиковые пробирки и довели до метки деионизованной водой.

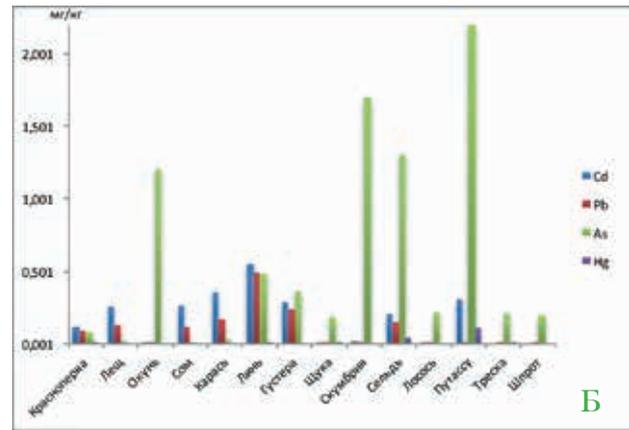
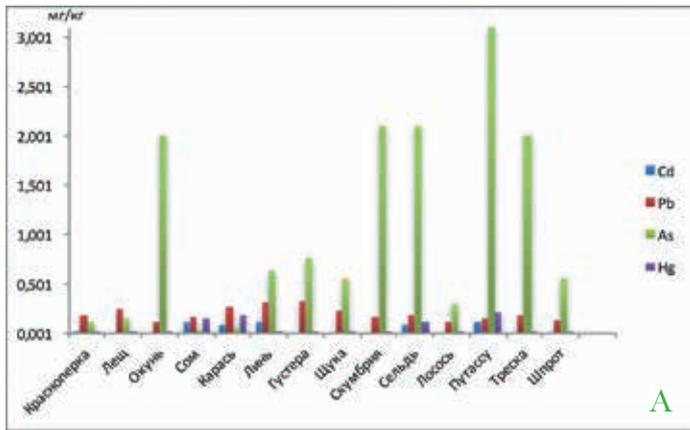
Для испытуемых образцов использовалась внешняя калибровка в интересующем диапазоне концентраций (n = 3).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание исследуемых токсичных элементов отвечало критериям безопасности, установленным Едиными санитарно-эпидемиологическими и гигиеническими требованиями к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю).

Анализируемые органы и ткани рыб аккумулировали различные токсичные элементы в разной степени (рис.). Распределение последних в организме рыб характеризовалось неравномерностью и зависело от функциональных особенностей органов, их кумулятивной активности и химических свойств элементов.

Закономерности распределения токсичных элементов в мышцах (As > Pb > Hg > Cd) и печени (As > Cd > Pb > Hg) рыб различны. Хотя в этих ранжированных рядах нивелированы видовые различия, тем не менее для оценки общих тенденций локализации элементов в организме рыб именно такое обобщение данных представляется наиболее приемлемым.



Накопление токсичных элементов в мышцах (А) и печени (Б) рыб

Относительно высокую концентрацию токсичных элементов в печени можно объяснить большим содержанием в этом органе специфических низкомолекулярных белков – металлотионеинов, которые являются специфическими концентраторами элементов, особенно кадмия.

Содержание Cd, Pb, As, Hg в органах и тканях рыб не превышает ПДК (мг/кг): для пресноводных рыб 0,2; 1,0; 1,0 и 0,6 (хищная) соответственно, для морских видов рыб As – 5,0, Hg – 0,5; в печени Cd – 0,7, Hg – 0,5 [5]. Однако для каждого вида характерна вариабельность их содержания в широких пределах. Такое ранжирование объясняется интенсивной аккумуляцией в гидробионтах элементов, которые принимают активное участие в физиологических процессах (дыхании, кроветворении, депонировании, выделении и др.). Наибольшие концентрации элементов отмечены в печени – органе, участвующем в детоксикации организма. Более высокие концентрации мышьяка, возможно, связаны с особенностями питания. Мышьяк поглощается гидробионтами в основном с пищей, и в организме токсичные неорганические соединения мышьяка способны быстро образовывать прочные комплексы с низкомолекулярными органическими веществами, которые не представляют опасности для человека и к тому же быстро выводятся из организма.

Среди исследованных рыб максимальная способность накапливать элементы наблюдалась у фитофагов и бентофагов, что вызвано более высоким содержанием токсичных элементов в рационе. Следующими в ряду стоят хищные рыбы, химический состав тканей которых сильно зависит от набора кормовых объектов и их размера.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рыбы занимают в биоценозах водных экосистем верхний трофический уровень и обладают ярко выраженной способностью, наряду с другими гидробионтами, накапливать токсичные элементы. Повышенное содержание Cd, As, Pb, Hg в организме рыб свидетельствует о значительной их концентрации в водной среде, аккумуляции в пищевых цепях, функциональном нарушении во всех звеньях экосистемы. Знания о составе и количестве токсичных элементов в тканях (прежде всего в мышечной) промысловых рыб имеют важное практическое значение. Рыбы являются одним из компонентов рациона населения, и избыточное содержа-

ние токсичных элементов в рыбопродуктах в конечном итоге отражается на здоровье человека.

Установлено, что: динамика аккумуляции свинца, кадмия, мышьяка и ртути в органах и тканях рыб колеблется в широких пределах, но не превышает ПДК. У рыб придонного типа питания накапливается больше токсичных элементов (например, кадмия в печени), чем в тканях пелагических рыб. Распределение токсичных элементов в организме рыб характеризуется неоднородностью, что объясняется свойствами элементов и функциональными особенностями органов и тканей: мышьяк и свинец концентрируются и в мышцах, и в печени; ртуть – в мышцах, кадмий – в печени.

Несмотря на относительную «чистоту» промысловых рыб Балтийского моря, существует необходимость проведения дальнейших регулярных исследований химического состава гидробионтов. Это позволит проследить информацию о фоновом уровне изучаемых элементов и в дальнейшем оценивать антропогенную нагрузку на водоем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барышников И. И., Барышников В. И. Тяжелые металлы в окружающей среде – проблема экологической токсикологии // Экологическая химия. – 1997. – № 2. – С. 102–106.
2. Патин С. А., Морозов Н. П. Микроэлементы в морских организмах и экосистемах. – М.: Пищ. промышленность, 2003. – 153 с.
3. Ревич Б. А. «Горячие точки» химического загрязнения окружающей среды и здоровье населения России / под ред. В. М. Захарова. – М.: Акрополь, Общественная палата РФ, 2007. – 192 с.
4. Руднева Н. А. Тяжелые металлы и микроэлементы в гидробионтах Байкальского региона / ред. В. М. Корсунов, А. Л. Ковалевский. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского научного центра, 2001. – 135 с.
5. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции: утв. решением комиссии Таможенного союза 09.12.2011 № 880/ТР ТС 021/2011. – М.: Система «КонсультантПлюс». Эксперт-приложение, 2012. – 241 с.
6. Hartwig A., Jahnke G. Toxic metals and metalloids in foods // Chemical Contaminants and Residues in Food. – 2012. – doi: 10.1533/9780857095794.2.233.
7. Total arsenic, inorganic arsenic, lead and cadmium contents in edible seaweed sold in Spain / С. Almela, M. J. Clemente, D. Velez, R. Montoro // Food Chem. Toxicol. – 2006. – Vol. 44 (11). – P. 1901–1908.