



Биология и экология гидробионтов

УДК 597:504.5:546(470.6)

МЫШЬЯК В ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБАХ ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА И СРЕДЕ ИХ ОБИТАНИЯ

© 2019 И. В. Кораблина, Т. О. Барабашин, Н. И. Каталевский, А. И. Евсева

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»),
Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону 344002, Россия
E-mail: korablina_i_v@azniirkh.ru*

Аннотация. Приводятся результаты исследований содержания мышьяка в воде и донных отложениях пресноводных водоемов Республики Адыгея, Краснодарского и Ставропольского краев, Ростовской области в период 2016–2018 гг. Оценены уровни загрязненности среды обитания водных биологических ресурсов в соответствии с нормативами для пресноводных рыбохозяйственных водоемов и среднемноголетними показателями. Представлены усредненные результаты по содержанию мышьяка в органах и тканях промысловых рыб (судак, карась, густера, окунь, лещ, тарань), выловленных в Краснодарском, Тахтамукайском, Отказненском, Новотроицком, Чограйском, Крюковском, Варнавинском, Веселовском, Пролетарском и Усть-Манычском водохранилищах, реках Дон, Кубань и Мокрая Буйвола в современный период. Приведено сравнение уровней накопления мышьяка в мышцах и гонадах рыб в соответствии с российским нормативом качества продуктов питания (СанПиН). Показано, что наиболее загрязнены мышьяком вода и донные отложения в водоемах Краснодарского края. Повышенные уровни накопления мышьяка в отдельных видах рыб отмечались как в перечисленных водоемах, так и в ряде водоемов Ростовской области, где загрязнение среды обитания мышьяком низкое. Определение мышьяка во всех объектах проведено в соответствии с методиками, разработанными в Азово-Черноморском филиале ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»).

Ключевые слова: водоемы Северо-Кавказского региона, мышьяк, вода, донные осадки, гидробионты, накопление, концентрация

ARSENIC IN THE COMMERCIAL FRESHWATER FISH SPECIES OF THE NORTH-CAUCASUS REGION AND IN THE WATER BODIES THEY INHABIT

I. V. Korablina, T. O. Barabashin, N. I. Katalovsky, A. I. Evseva

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI “VNIRO”),
Azov-Black Sea Branch of the FSBSI “VNIRO” (“AzNIIRKH”), Rostov-on-Don 344002, Russia
E-mail: korablina_i_v@azniirkh.ru*

Abstract. The research results on the arsenic content in the water and bottom sediments of freshwater bodies of the Republic of Adygea, Krasnodar Krai, Stavropol Krai, and Rostov Region are given for the period of 2016–2018. The levels of pollution of the habitat of aquatic biological resources have been estimated in accordance with the standards for freshwater bodies of fisheries importance and the average long-term values. The averaged results are presented for the organs and tissues of such commercial fish species as the pike perch (zander), crucian carp, white bream, European perch, common bream and the roach caught in the Krasnodar, Takhtamukaysk, Otkaznensk, Novotroitsk, Chograysk, Kryukovsk, Varnavinsk, Veselovsk, Proletarsk and Ust-Manych Reservoirs, the Don River, the Kuban and Mokraya (Wet) Buyvola Rivers. The levels of arsenic accumulated in the muscles and gonads of the fish have been compared in accordance with the Russian Sanitary Rules and Norms for Food Quality (SanPiN). It is shown that water and bottom sediments in water bodies of the Krasnodar Krai are the most polluted with arsenic. The determination of arsenic in the fish and the water bodies under investigation has been carried out in accordance with the procedures developed in the Azov-Black Sea Branch of “VNIRO” (“AzNIIRKH”).

Keywords: water reservoirs, North Caucasus Region, arsenic, water, bottom sediments, hydrobionts, accumulation, concentration

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время элементы практически всех водных экосистем Земли в большей или меньшей степени подвержены негативному воздействию ксенобиотиков. По самым скромным оценкам считается, что глобальное загрязнение привело к снижению естественной продуктивности внутренних промысловых водоемов примерно на 30 % [1]. Имеется множество данных, свидетельствующих о различных нарушениях физиологического состояния гидробионтов, патологических деформациях регенеративной функции, иммунной системы и генетического аппарата гидробионтов под действием поллютантов [2–5]. Существенным дополнением этим материалам служат результаты химико-биологических и токсикологических исследований, проводившихся в случаях массовой гибели гидробионтов при залповых сбросах больших количеств техногенных токсикантов. Однако потери биоресурсов при залповых загрязнениях, какими бы впечатляющими они ни оказывались, несопоставимо малы по сравнению с потерями, вызываемыми хроническим воздействием антропогенных токсикантов, накапливающихся в жизненно важных органах рыб [6]. По масштабам воздействия на количественные показатели состояния промысловой икhtiофауны химическое загрязнение можно сравнивать только с такими мощными факторами, как радикальные нарушения естественного воспроизводства и браконьерство [7]. По влиянию на качественные показатели состояния рыбных запасов химическое загрязнение значительно превосходит все остальные антропогенные факторы.

Согласно критериям экологической опасности (токсичности, генотоксичности, канцерогенности,

распространенности, частоте встречаемости), мышьяк относится к числу приоритетных загрязняющих веществ. В природе мышьяк находится в виде разнообразных устойчивых химических соединений: в воде — в форме арсената или арсенита, обычно в микрограммовых концентрациях; также встречаются метилированные соединения [8].

Осажденные формы при повышении температуры могут легко растворяться и вызывать вторичное загрязнение водоема.

Самоочищение водоемов от мышьяка и его соединений протекает медленно. Наибольший вклад в этот процесс вносит биоаккумуляция мышьяка прибрежной водной растительностью. Вместе с мышьяком в водоеме присутствуют органические вещества, вызывающие разрастание прибрежной водной растительности. При этом растения, корневища которых глубоко прикрепляются ко дну, накапливают мышьяка больше, чем водоплавающие [9].

Поскольку мышьяк и его соединения широко применяются в промышленности, он может содержаться в сточных водах металлургических, химико-фармацевтических, текстильных, стекольных, кожевенных предприятий, производств инсектицидов, гербицидов, красок. Мышьяковистые ядохимикаты, используемые в сельском и лесном хозяйстве для борьбы с вредителями растений, также могут поступать в водоемы с поверхностным стоком. Концентрация мышьяка в воде на уровне 1,1–2,2 мг/л вызывает гибель судака и плотвы через 2–3 суток, при 3,1 мг/л — карпа и угря через 4–6 суток [10].

Мышьяк — медленно действующий яд, при действии которого картина острого отравления рыб нехарактерна. При больших концентрациях в среде

соединения мышьяка действуют прижигающе на жабры и кожу рыб. Попадая в организм, мышьяк связывается с SH-группами ферментов и вызывает сосудистые нарушения и деструктивные изменения во внутренних органах. Рыбы угнетены, малоподвижны, перед смертью наступает сильное возбуждение и судороги. Патоморфологические изменения характеризуются дистрофией респираторного эпителия, водяночно-жировой дистрофией и некробиозом печеночных клеток и эпителия канальцев почек. При хроническом отравлении рыбы истощены и анемичны. Содержание мышьяка в теле рыб, отравленных неорганическими или органическими соединениями, по данным разных авторов, составляет от 0,9 до 1340 мг/кг [5, 10]. При остром отравлении мышьяк концентрируется в жабрах и внутренних органах, а при хроническом, помимо этого — в костях, чешуе и головном мозге. Соли мышьяко-вистой кислоты (арсениты) резорбируются в тело рыб быстрее, чем арсенаты, и более токсичны. Смертельные концентрации мышьяковистого ангидрида для форели и окуня — 15–19 мг As/л, карася и карпа — 19–25, дафний — 0,5, циклопов — 1–5 мг As/л [10].

Установление количественной зависимости между загрязнением среды обитания гидробионтов и собственно физиологическим состоянием последних является одной из наиболее актуальных задач рыбохозяйственной науки в аспекте решения проблемы продовольственной безопасности [7].

Все эти факторы, наряду с высокой антропогенной нагрузкой на пресноводные водоемы Северо-Кавказского региона, указывают на актуальность и необходимость исследований содержания мышьяка не только в рыбе, но и в среде обитания водных биологических ресурсов, особенно на фоне развития аквакультуры в южном регионе России.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В задачу настоящего исследования входило определение соотношения содержания мышьяка в среде обитания с уровнем накопления в промысловых видах рыб, выловленных в пресноводных водоемах Северного Кавказа и южных регионов в 2016–2018 гг. Пробы воды, донных отложений и гидробионтов отбирались в каждом из водоемов одновременно и в одни вегетационные периоды: весной и летом.

Для определения уровней накопления мышьяка гидробионтами исследовали органы и ткани (мыш-

цы, печень, гонады) 6 промысловых видов рыб (судак *Sander lucioperca*, карась *Carassius*, густера *Blicca bjoerkna*, окунь *Perca fluviatilis*, лещ *Abramis brama*, тарань *Rutilus heckelii*), выловленных в пресноводных водоемах четырех территориальных образований Северо-Кавказского региона: Республика Адыгея (Краснодарское и Тахтамукайское водохранилища), Ставропольский край (Отказненское, Новотроицкое и Чограйское водохранилища, оз. Буйвола, р. Мокрая Буйвола), Краснодарский край (Крюковское и Варнавинское водохранилища, р. Кубань), Ростовская область (Веселовское, Пролетарское и Усть-Маньчское водохранилища, р. Дон). В выборку попали самки и самцы, обладающие близкими внутривидовыми морфометрическими показателями и стадией зрелости гонад. Всего было отобрано и проанализировано около 300 проб донных отложений (не менее трех проб из каждого водоема в сезон) и более 350 проб гидробионтов (не менее 10 особей каждого вида из каждого водоема).

Для определения мышьяка в водной среде, органах и тканях рыб использовался метод атомной абсорбции с электротермической атомизацией с пределами обнаружения 2,5 мкг/л и 0,50 мг/кг сырой массы [11, 12], в донных отложениях — рентгенфлуоресцентный метод анализа с пределом обнаружения 0,6 мг/кг сухой массы [13]. Используемые методики разработаны Азово-Черноморским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), метрологически аттестованы и включены в Государственный реестр методик количественного химического анализа и оценки состояния объектов окружающей среды, допущенных для государственного экологического контроля и мониторинга. Аттестация методик проведена в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений», свидетельства аттестации выданы ФГУП «УНИИМ» (г. Екатеринбург), ФГБУ «Гидрохимический институт» (г. Ростов-на-Дону), ФБУ «Ростовский ЦСМ», имеющими лицензии на проведение аттестации методик количественного химического анализа. Данные методы широко используются для определения загрязнения мышьяком в Азово-Черноморском бассейне [8, 14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В период наблюдений 2016–2018 гг. концентрация мышьяка в воде большинства обследованных

водоемов Северо-Кавказского региона была крайне низкой и не превысила предел определения (<2,5 мкг/л), в воде рек Дон и Кубань — достигла 3,6 и 3,3 мкг/л, соответственно; даже максимальные значения были значительно ниже ПДКр/х (50 мкг/л). Содержание мышьяка в донных отложениях водоемов республики Адыгея в этот же период составило 1,8–14 мг/кг, Ставропольского края — 1,4–11 мг/кг, Краснодарского края — 3,6–62 мг/кг, Ростовской области — 0,70–27 мг/кг сухой массы. Более высокие концентрации мышьяка в донных осадках соответствующих субъектов пришлось на Краснодарское, Веселовское и Чограйское водохранилища при абсолютном максимуме в Крюковском водохранилище (табл. 1).

Концентрация мышьяка в донных отложениях российскими нормативными документами не регламентируется, корректным будет сравнение с содержанием в земной коре — $1,7 \cdot 10^{-4}$ % по массе [15]. Следовательно, концентрация мышьяка в донных отложениях водоемов Республики Адыгея превысила среднее содержание в земной коре в среднем в 3,8 раза, Ставропольского края и Ростовской области — в 3 и 7 раз, соответственно, Краснодарского края — в 10 раз (а конкретно в Крюковском водохранилище — в 36 (!) раз) (табл. 1). Данная ситуация — практически полное отсутствие мышьяка в воде и одновременно повышенное содержание в донных отложениях — свидетельствует об отсутствии больших объемов «свежего»

Таблица 1. Диапазоны концентраций мышьяка в воде и донных отложениях пресноводных водоемов Северного Кавказа, 2016–2018 гг. (n=285, P=0,95)

Table 1. The concentration ranges of arsenic in the water and bottom sediments of freshwater bodies of the North Caucasus, 2016–2018 (n=285, P=0.95)

Водоем Water body	Вода, мкг/л Water, µg/l	Донные отложения, мг/кг сухой массы Bottom sediments, mg/kg of dry weight
Республика Адыгея / Republic of Adygea		
Краснодарское водохранилище Krasnodar Reservoir	<2,5	(2,0±0,5)–(14±1)
Тахтамукайское водохранилище Tahtamukaysk Reservoir	<2,5	(1,8±0,4)–(8,0±0,7)
Ставропольский край / Stavropol Krai		
Отказненское водохранилище Otkaznensk Reservoir	<2,5	(1,4±0,3)–(5,7±0,5)
Новотроицкое водохранилище Novotroitsk Reservoir	<2,5	(1,6±0,4)–(7,4±0,7)
Чограйское водохранилище Chograisk Reservoir	<2,5	(5,3±0,5)–(11±1)
р. Мокрая Буйвола Mokraya (Wet) Buyvola River	<2,5	(2,0±0,5)–(7,1±0,6)
Краснодарский край / Krasnodar Krai		
Крюковское водохранилище Kryukovsk Reservoir	<2,5	(4,0±0,4)–(62±6)
Варнавинское водохранилище Varnavinsk Reservoir	<2,5	(3,6±0,9)–(11±1)
р. Кубань Kuban River	<2,5–(3,3±0,7)	(6,2±0,6)–(15±1)
Ростовская область / Rostov Region		
Веселовское водохранилище Veselovsk Reservoir	<2,5	(7,1±0,6)–(27±2)
Пролетарское водохранилище Proletarsk Reservoir	<2,5	(3,6±0,9)–(9,4±0,8)
Усть-Маньчское водохранилище Ust-Manych Reservoir	<2,5	нет данных no data
р. Дон Don River	<2,5–(3,6±1,1)	(0,70±0,17)–(25±2)

поступления токсиканта в водоем в пользу хронического и давнего характера загрязнения.

Безопасность уровней накопления мышьяка в мышцах и гонадах рыб оценивали в соответствии с санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами, действующими с 1 июля 2002 г.; допустимое остаточное количество (ДУ) — 1 мг/кг сырой массы [16].

В данном исследовании изучали уровни накопления нормируемого мышьяка в мышцах и гонадах, а также в печени судака, окуня, густеры, карася, леща и тарани. Все вышеперечисленные виды рыб в зависимости от водоема являются промысловыми в Северо-Кавказском регионе, а также объектами прудового хозяйства.

Лещ обыкновенный (*Abramis brama*) — представитель семейства Карповых. В водоеме держится группами, преимущественно в глубоких местах, поросших растениями. Живущие в устьевых участках рек лещи частью зимуют в море, частью входят в реку. Если лещей не беспокоят, они живут на

одном месте очень долго и могут являться своеобразными биомаркерами загрязнения водоема. Кормятся лещи, главным образом, водяными растениями, червяками, личинками и насекомыми. В органах и тканях леща, выловленного в пресноводных водоемах Северо-Кавказского региона в весенний, летний и осенний периоды 2016–2018 гг., концентрации мышьяка находились в диапазоне от <0,50 до 0,68 мг/кг сырой массы и не превышали ДУ. Значимые показатели оказались лишь у рыб из водоемов Ростовской области (табл. 2), в частности, в гонадах леща, выловленного в р. Дон летом 2017 г.

Карась серебряный (*Carassius gibelio*) — вид лучеперых рыб семейства Карповых. Питаются караси растительностью, мелкими беспозвоночными, зоопланктоном, зообентосом и детритом, обитают исключительно в болотистых и низменных озерах и реках. В органах и тканях карася, выловленного в пресноводных водоемах Северо-Кавказского региона в весенний, летний и осенний период 2016–2018 гг., концентрации мышьяка были

Таблица 2. Диапазон концентраций мышьяка в органах и тканях леща, выловленного в пресноводных водоемах Северо-Кавказского региона в 2016–2018 гг. (n=90, P=0,95)

Table 2. The range of concentrations of arsenic in the organs and tissues of common bream from the freshwater bodies of the North Caucasus Region, 2016–2018 (n=90, P=0.95)

Морфометрические показатели рыб Morphometric features of fish		Пол, стадия зрелости гонад Sex, maturity stage of gonads	Объект исследования Subject of research	Концентрация, мг/кг сырой массы Concentration, mg/kg of wet weight
длина, см length, cm	масса, кг weight, kg			
Республика Адыгея (Краснодарское водохранилище) Republic of Adygea (Krasnodar Reservoir)				
18–25	0,10–0,14	♀+♂, II	мышцы / muscles	<0,50
			печень / liver	<0,50
			гонады / gonads	<0,50
Краснодарский край (р. Кубань) Krasnodar Krai (Kuban River)				
22–28	0,16–0,58	♀+♂	мышцы / muscles	<0,50
			печень / liver	<0,50
			гонады / gonads	<0,50
Ставропольский край (Отказненское и Чограйское водохранилища, оз. Буйвола) Stavropol Krai (Otkaznensk and Chograisk Reservoirs, Buyvola Lake)				
11–14	0,10–0,30	♀+♂, IV	мышцы / muscles	<0,50
			печень / liver	<0,50
			гонады / gonads	<0,50
Ростовская область (Веселовское, Пролетарское, Усть-Маньчское водохранилища, р. Дон) Rostov Region (Veselovsk, Proletarsk and Ust-Manych Reservoirs, Don River)				
13–34	0,10–2,5	♀+♂, II–V	мышцы / muscles	<0,50–(0,50±0,15)
			печень / liver	<0,50–(0,50±0,15)
			гонады / gonads	<0,50–(0,68±0,20)

низкими: колебались на уровне предела определения (0,50 мг/кг сырой массы) (табл. 3).

Тарань (*Rutilus rutilus heckelii*) питается в основном небольшими моллюсками и донными беспозвоночными. Весной входит в реки для метания икры, осенью может заходить на зимовку в устьевые участки. В органах и тканях тарани, выловленной в пресноводных водоемах Северо-Кавказского региона в весенний, летний и осенний периоды 2016–2018 гг., концентрации мышьяка варьировали в узком диапазоне от <0,50 до 0,54 мг/кг сырой массы (табл. 4) и не превышали ДУ. Значимые концентрации мышьяка зафиксированы в печени тарани, выловленной в Чограйском водохранилище (Ставропольский край) летом 2017 г.

Густера (*Blicca bjoerkna*) — стайная рыба семейства карповых, очень близка к лещам. Живет на одном месте, совершая небольшие миграции только для зимовки и нереста (может служить биомаркером загрязнения водоема). В обычном рационе густеры присутствуют разнообразные вод-

ные организмы, предпочтение отдается крупным моллюскам. В органах и тканях густеры, выловленной в пресноводных водоемах Северо-Кавказского региона в весенний, летний и осенний периоды 2016–2018 гг., концентрация мышьяка составила <0,50–1,0 мг/кг сырой массы (табл. 5) и не превысила допустимый уровень. Наиболее высокое содержание мышьяка — на уровне допустимого — обнаружено в мышцах густеры, выловленной в Крюковском водохранилище (Краснодарский край) весной 2016 г., немногим меньше — в печени (0,92 ДУ) и гонадах густеры (0,85 ДУ), выловленной в Краснодарском водохранилище летом 2017 г.

Речной (обыкновенный) окунь (*Perca fluviatilis*) — широко распространенная рыба, относится к отряду хищников. В его рационе значительную долю занимают другие пресноводные рыбы. Речной окунь предпочитает придерживаться прибрежной зарослевой зоны равнинных водоемов, любит участки с обилием водной растительности. Исследования, проведенные в 1990–2000 гг. в

Таблица 3. Диапазон концентраций мышьяка в органах и тканях карася, выловленного в пресноводных водоемах Северо-Кавказского региона в 2016–2018 гг. (n=70, P=0,95)

Table 3. The range of concentrations of arsenic in the organs and tissues of crucian carp from the freshwater bodies of the North Caucasus Region, 2016–2018 (n=70, P=0.95)

Морфометрические показатели рыб Morphometric features of fish		Пол, стадия зрелости гонад Sex, maturity stage of gonads	Объект исследования Subject of research	Концентрация, мг/кг сырой массы Concentration, mg/kg of wet weight
длина, см length, cm	масса, кг weight, kg			
Республика Адыгея (Краснодарское водохранилище) Republic of Adygea (Krasnodar Reservoir)				
13–16	0,10–0,14	♀+♂, III–IV	мышцы / muscles	<0,50–(0,50±0,15)
			печень / liver	<0,50
			гонады / gonads	<0,50
Краснодарский край (Крюковское водохранилище, р. Кубань) Krasnodar Krai (Kryukovsk Reservoir, Kuban River)				
14–28	0,13–0,52	♀+♂	мышцы / muscles	<0,50–(0,50±0,15)
			печень / liver	<0,50
			гонады / gonads	<0,50
Ставропольский край (Чограйское водохранилище) Stavropol Krai (Chograisk Reservoir)				
14–17	0,10–0,35	♀+♂, IV	мышцы / muscles	<0,50
			печень / liver	<0,50
			гонады / gonads	<0,50
Ростовская область (Веселовское и Пролетарское водохранилища, р. Дон) Rostov Region (Veselovsk and Proletarsk Reservoirs, Don River)				
8,0–40	0,11–2,5	♀+♂, II–III	мышцы / muscles	<0,50
			печень / liver	<0,50–(0,50±0,15)
			гонады / gonads	<0,50–(0,50±0,15)

Таблица 4. Диапазоны концентраций мышьяка в органах и тканях тарани, выловленной в пресноводных водоемах Северо-Кавказского региона в 2016–2018 гг. (n=60, P=0,95)

Table 4. The range of concentrations of arsenic in the organs and tissues of roach from the freshwater bodies of the North Caucasus Region, 2016–2018 (n=60, P=0.95)

Морфометрические показатели рыб Morphometric features of fish		Пол, стадия зрелости гонад Sex, maturity stage of gonads	Объект исследования Subject of research	Концентрация, мг/кг сырой массы Concentration, mg/kg of wet weight
длина, см length, cm	масса, кг weight, kg			
Республика Адыгея (Краснодарское водохранилище) Republic of Adygea (Krasnodar Reservoir)				
9,5–11	0,10–0,14	♂, II	мышцы / muscles	<0,50
			печень / liver	<0,50
			гонады / gonads	<0,50
Ставропольский край (Отказненское и Чограйское водохранилища) Stavropol Krai (Otkaznensk and Chograisk Reservoirs)				
16–23	0,10–0,20	♀+♂, IV	мышцы / muscles	<0,50
			печень / liver	<0,50–(0,54±0,16)
			гонады / gonads	<0,50
Ростовская область (Веселовское, Пролетарское водохранилища, р. Дон) Rostov Region (Veselovsk and Proletarsk Reservoirs, Don River)				
9,0–21	0,10–0,43	♀+♂, II–IV	мышцы / muscles	<0,50
			печень / liver	<0,50–(0,51±0,15)
			гонады / gonads	<0,50

Таблица 5. Диапазоны концентраций мышьяка в органах и тканях густеры, выловленной в пресноводных водоемах Северо-Кавказского региона в 2016–2018 гг. (n=60, P=0,95)

Table 5. The range of concentrations of arsenic in the organs and tissues of white bream from the freshwater bodies of the North Caucasus Region, 2016–2018 (n=60, P=0.95)

Морфометрические показатели рыб Morphometric features of fish		Пол, стадия зрелости гонад Sex, maturity stage of gonads	Объект исследования Subject of research	Концентрация, мг/кг сырой массы Concentration, mg/kg of wet weight
длина, см length, cm	масса, кг weight, kg			
Республика Адыгея (Краснодарское и Тахтамукайское водохранилища) Republic of Adygea (Krasnodar and Takhtamukaysk Reservoirs)				
14–24	0,10–0,24	♀, III–IV	мышцы / muscles	<0,50–(0,50±0,15)
			печень / liver	<0,50–(0,92±0,27)
			гонады / gonads	<0,50–(0,85±0,25)
Краснодарский край (Крюковское и Варнавинское водохранилища, р. Кубань) Krasnodar Krai (Kryukovsk and Varnavinsk Reservoirs, Kuban River)				
13–20	0,10–0,13	♀+♂, III–IV	мышцы / muscles	<0,50–(1,0±0,3)
			печень / liver	<0,50
			гонады / gonads	<0,50–(0,50±0,15)
Ростовская область (р. Дон) Rostov Region (Don River)				
12–20	0,10–1,5	♀+♂, II–IV	мышцы / muscles	<0,50
			печень / liver	<0,50–(0,50±0,15)
			гонады / gonads	<0,50

Европе, подтвердили важную роль речного окуня в поддержании баланса экосистем водоемов: резкое сокращение его численности приводит к ухудшению состояния качества воды [17]. В свою очередь, промышленное загрязнение водоемов приводит к накоплению мышьяка преимущественно в печени, почках, голове и костях окуня [18], вызывает замедление развития репродуктивных органов у самок окуня и их дегенерацию у части популяции [19].

В органах и тканях окуня, выловленного в пресноводных водоемах Северо-Кавказского

региона в весенний, летний и осенний периоды 2016–2018 гг., концентрация мышьяка была низкой и колебалась на уровне предела определения (0,50 мг/кг сырой массы) (табл. 6).

Судак обыкновенный (*Sander lucioperca*), обитающий в водоемах Северо-Кавказского региона, относится к виду лучеперых рыб из семейства окуневых, отряду полупроходных рыб. Проводя значительную часть жизни в море, в зимние месяцы судак собирается в предустьевых участках рек, куда в весенний период отправляется на нерест. Пищевой рацион судака состоит главным образом

Таблица 6. Диапазон концентраций мышьяка в органах и тканях окуня, выловленного в пресноводных водоемах Северо-Кавказского региона в 2016–2018 гг. (n=40, P=0,95)

Table 6. The range of concentrations of arsenic in the organs and tissues of European perch from the freshwater bodies of the North Caucasus Region, 2016–2018 (n=40, P=0.95)

Морфометрические показатели рыб Morphometric features of fish		Пол, стадия зрелости гонад Sex, maturity stage of gonads	Объект исследования Subject of research	Концентрация, мг/кг сырой массы Concentration, mg/kg of wet weight
длина, см length, cm	масса, кг weight, kg			
Ставропольский край (р. Мокрая Буйвола) Stavropol Krai (Mokraya Buyvola River)				
22–31	0,22–0,43	♀, IV	мышцы / muscles	<0,50
			печень / liver	<0,50
			гонады / gonads	<0,50
Ростовская область (Веселовское и Пролетарское водохранилища, р. Дон) Rostov Region (Veselovsk and Proletarsk Reservoirs, Don River)				
11–43	0,10–3,0	♂+♀, II–III	мышцы / muscles	<0,50
			печень / liver	<0,50–(0,50±0,15)
			гонады / gonads	<0,50

из мелкой рыбы (бычок, тюлька, килька и др.) и бентосных организмов.

Диапазон концентраций мышьяка в проанализированных органах и тканях судака вне зависимости от водоема в течение последних двух лет в целом был довольно узким (<0,050–0,53 мг/кг сырой массы). Лишь в гонадах судака, выловленного летом 2017 г. в р. Кубань (Краснодарский край), концентрации мышьяка превысили ДУ в среднем в 3,3 раза (табл. 7).

Всего в реку Кубань впадает более 14000 больших и малых притоков. На реке расположено искусственное Краснодарское водохранилище, крупнейшее на Северном Кавказе, находятся города Карачаевск, Черкесск, Невинномысск, Армавир, Новокубанск, Кропоткин, Краснодар, Темрюк. Начиная от г. Усть-Лабинск река судоходна, ее вода используется для выработки электро-

энергии на Кубанском каскаде (Зеленчукские, Куршавские, Барсучковские, Сенгилеевские ГЭС). Очевидна значительная антропогенная нагрузка на экосистему реки. С учетом сбрасываемых вод промышленного и хозяйственно-бытового секторов, содержание мышьяка в донных осадках реки со временем возросло и стало превышать средние значения в земной коре (см. табл. 2), что привело к его накоплению в гидробионтах.

Анализ усредненных величин концентраций мышьяка, которые были получены не менее чем от 50 самок и самцов, обладающих близкими внутривидовыми морфометрическими показателями и стадией зрелости гонад, для каждого из водоемов показал, что максимальный уровень накопления отмечался в судаке, выловленном в р. Кубань (Краснодарский край), в пресноводных водоемах Респуб-

Таблица 7. Диапазоны концентраций мышьяка в органах и тканях судака, выловленного в пресноводных водоемах Северо-Кавказского региона в 2016–2018 гг. (n=40, P=0,95)

Table 7. The range of concentrations of arsenic in the organs and tissues of pike perch (zander) from the freshwater bodies of the North Caucasus Region, 2016–2018 (n=40, P=0.95)

Морфометрические показатели рыб Morphometric features of fish		Пол, стадия зрелости гонад Sex, maturity stage of gonads	Объект исследования Subject of research	Концентрация, мг/кг сырой массы Concentration, mg/kg of wet weight
длина, см length, cm	масса, кг weight, kg			
Краснодарский край (р. Кубань) Krasnodar Krai (Kuban River)				
26–40	0,20–0,86	♀+♂	мышцы / muscles	<0,50–(0,50±0,15)
			печень / liver	<0,50–(0,53±0,15)
			гонады / gonads	<0,50–(3,2±0,5)
Ставропольский край (Новотроицкое водохранилище) Stavropol Krai (Novotroitsk Reservoir)				
36–40	1,3–1,5	♀, IV	мышцы / muscles	<0,50
			печень / liver	<0,50
			гонады / gonads	<0,50
Ростовская область (Пролетарское водохранилище, р. Дон) Rostov Region (Proletarsk Reservoir, Rriver Don)				
19–50	0,12–4,5	♀+♂, II–V	мышцы / muscles	<0,50–(0,50±0,15)
			печень / liver	<0,50–(0,50±0,15)
			гонады / gonads	<0,50

лики Адыгея — в густере. В водоемах Ставропольского края и Ростовской области содержание мышьяка в различных видах рыб было одинаково низким: на уровне предела определения (0,5 мг/кг сырой массы).

Таким образом, изучение накопления мышьяка различными видами промысловых рыб, обитающих в пресноводных водоемах Северо-Кавказского региона, показало, что для накопления мышьяка был характерен диапазон <0,50–3,2 мг/кг сырой массы. По уровню накопления мышьяка в зависимости от видовой принадлежности выстроилась следующая цепочка: судак (Краснодарский край) > густера (Республика Адыгея и Краснодарский край) > лещ (Ростовская область) > судак (Ростовская область) > карась (Республика Адыгея и Ростовская область) > окунь (Ростовская область) > тарань (Ставропольский край и Ростовская область).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование содержания мышьяка в ряде пресноводных водоемов Северного Кавказа в современный период (2016–2018 гг.) показало наиболее высокие концентрации в воде рек Кубань и Дон, а в донных отложениях — в Крюковском водохрани-

лище. Из обследованных водоемов наиболее высокий уровень загрязнения мышьяком среды обитания гидробионтов оказался в водоемах Краснодарского края. На данную ситуацию отреагировали рыбы: максимальное накопление мышьяка отмечено у гидробионтов, выловленных именно в водоемах Краснодарского края. При том, что концентрация мышьяка в воде большинства обследованных водоемов низкая, его повышенное содержание в донных осадках является потенциальным источником вторичного загрязнения. Особую опасность вызывает загрязнение донных отложений Крюковского водохранилища, где на высокие концентрации мышьяка «отозвались» мышцы густеры. В отдельных водоемах Ростовской области при относительно низком содержании мышьяка в воде и донных осадках обнаружены повышенные уровни накопления в гонадах леща, судака и густеры. Как показали исследования, вне зависимости от водоема мышьяк накапливается главным образом в гонадах, что может негативно отражаться на репродуктивных функциях рыб, — в первую очередь, такого ценного промыслового вида, как судак. Закономерной является повышенная концентрация

мышьяка в хищниках как в высших звеньях экологических цепей, а также в сравнительно оседлых видах (лещ, густера).

Большинство из проанализированных видов рыб, обитающих в обследованных водоемах Северо-Кавказского региона, безопасны для потребителя по загрязнению мышьяком. Однако на фоне минимального содержания встречаются случаи загрязнения гидробионтов токсикантом на опасном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров А.Н. Инженерные методы оздоровления и восстановления водоемов (обзор зарубежных технических средств) // Теория и практика восстановления внутренних водоемов : сборник трудов междунар. науч.-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 15–18 октября 2007 г.) / Под ред. В.А. Румянцева. СПб: Лема, 2007. С. 121–126.
2. Сухаренко Н.В. Влияние органических поллютантов на развитие оксидативного стресса в мозге и печени половозрелых рыб разных видов // Физиология. 2015. № 3. С. 24–29.
3. Голованова И.Л. Влияние природных и антропогенных факторов на гидролиз углеводов у рыб и объектов их питания : автореф. дис. докт. биол. наук. СПб: Изд-во ИЭФБ им. И.М. Сеченова РАН, 2006. 43 с.
4. Немова Н.Н., Высоцкая Р.У. Биохимическая индикация состояния рыб. М.: Наука, 2004. 215 с.
5. Кузьмина В.В. Физиолого-биохимические основы экзотрофии рыб. М.: Наука, 2005. 300 с.
6. Перевозников М.А., Богданова Е.А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах. СПб: Изд-во ГосНИОРХ, 1999. 228 с.
7. Аналитические методики для контроля качества пищевых продуктов и продовольственного сырья. Часть 1. Показатели безопасности / Под ред. А.Б. Белова. М.: Перо, 2014. 232 с.
8. Практическое руководство по химическому анализу элементов водных экосистем. Приоритетные токсиканты в воде, донных отложениях, гидробионтах / Под ред. Т.О. Барабашина. Ростов-н/Д.: Мини Тайп, 2018. 436 с.
9. Нго Т.К. Роль бионакопления в самоочищении водоемов от соединений мышьяка // Научный альманах. 2017. № 8–1 (34). С. 179–181.
10. Васильков Г.В., Грищенко Л.И., Енгашев В.Г., Канаев А.И., Ларькова З.И., Осетров В.С. Болезни рыб : справочник / Под ред. В.С. Осетрова. М.: Агропромиздат, 1989. 288 с.
11. ФР 1.31.2006.01514 Методика выполнения измерений массовых концентраций алюминия, железа, кадмия, кобальта, марганца, меди, мышьяка, никеля, свинца, серебра, стронция, сурьмы, таллия, хрома и цинка в пробах природных (пресных и морских) и

очищенных сточных вод методом атомной адсорбции с электрометрической атомизацией. Ростов-н/Д.: Вираж, 2006. 18 с.

12. ФР 1.31.2019.32870 Методика выполнения измерений массовых долей железа, марганца, мышьяка, никеля и хрома в пробах гидробионтов методом атомной абсорбции с электротермической атомизацией. Ростов-н/Д.: Изд-во АзНИИРХ, 2018. 16 с.
13. ФР 1.31.2006.02634 Методика выполнения измерений массовых долей алюминия, бария, ванадия, железа, кобальта, магния, марганца, меди, мышьяка, никеля, свинца, стронция, титана, хрома, цинка и серы (общей) методом рентгенофлуоресцентного анализа. Ростов-н/Д.: Вираж, 2006. 14 с.
14. Барабашин Т.О., Кораблина И.В., Павленко Л.Ф., Скрыпник Г.В., Короткова Л.И. Методическое обеспечение мониторинга загрязнения водных объектов Азово-Черноморского бассейна // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1, № 3–4. С. 9–27.
15. Виноградов А.П. Химический элементарный состав организмов моря. М.: Наука, 2001. 358 с.
16. СанПиН 2.3.2.1078-01 Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Постановление № 36 от 14.11.2001 г. Дата введения: 01.07.2002 г. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901806306> (дата обращения 03.07.2019).
17. Rowe D., Moore A., Giorgetti A., Maclean C., Grace P., Wadhwa S., Cooke J. Review of the impacts of gambusia, redfin perch, tench, roach, yellowfin goby and streaked goby in Australia. Prepared for the Australian Government Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts. 2008. 241 p. URL: <https://www.environment.gov.au/system/files/resources/ed20fcbe-2a52-48e1-b81f-c79496dfc23b/files/introduce-fish.pdf> (дата обращения 03.07.2019).
18. Борисов М.Я. Накопление тяжелых металлов в тканях и органах рыб озера Воже // Водные экосистемы: трофические уровни и проблемы поддержания биоразнообразия : матер. Всерос. конф. с междунар. участием «Водные и наземные экосистемы: проблемы и перспективы исследований» (г. Вологда, 24–28 ноября 2008 г.). Вологда, 2008. С. 254–258.
19. Таликина М.Г., Комов В.Т., Гремячих В.А., Чеботарева Ю.В. Влияние ртути на морфологические и цитоморфологические показатели молоди окуня *Perca fluviatilis* в хроническом эксперименте // Токсикологический вестник. 2006. № 4. С. 16–19.

REFERENCES

1. Egorov A.N. Inzhenernyye metody ozdorovleniya i vosstanovleniya vodoemov (obzor zarubezhnykh tekhnicheskikh sredstv) [Engineering methods of rehabilitation and restoration of water bodies (review of foreign technological tools)]. In: *Teoriya i praktika vosstanovleniya vnutrennikh vodoemov : sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*

- (g. Sankt-Peterburg, 15–18 oktyabrya 2007 g.) [Theory and practice of rehabilitation of inland water bodies. Proceedings of the International Research and Practice Conference (Saint-Petersburg, 15–18 October, 2007)]. V.A. Romyantsev. (Ed.). Saint-Petersburg: Lema, 2007, pp. 121–126. (In Russian).
2. Sukharenko N.V. Vliyanie organicheskikh pollyutantov na razvitie oksidativnogo stressa v mozge i pecheni polovozrelykh ryb raznykh vidov [Organic pollutants effect on oxidative stress development in the brain and the liver of pubescent fish different species]. *Fiziologiya [Physiology]*, 2015, no. 3, pp. 24–29. (In Russian).
 3. Golovanova I.L. Vliyanie prirodnykh i antropogennykh faktorov na gidroliz uglevodov u ryb i ob"ektov ikh pitaniya : avtoref. dis. dokt. biol. nauk [Influence of natural and anthropogenic factors on hydrolysis of carbohydrates in fish and their food objects. Extended abstract of Doctor's (Biology) Thesis]. Saint Petersburg.: IEFB im. I.M. Sechenova RAN [Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences] Publ., 2006, 43 p. (In Russian).
 4. Nemova N.N., Vysotskaya R.U. Biokhimicheskaya indikatsiya sostoyaniya ryb [Biochemical indication of fish state]. Moscow: Nauka [Science], 2004, 215 p. (In Russian).
 5. Kuz'mina V.V. Fiziologo-biokhimicheskie osnovy ekzotrofii ryb [Physiological-biochemical bases of fish exotrophy]. Moscow: Nauka [Science], 2005, 300 p. (In Russian).
 6. Perevoznikov M.A., Bogdanova E.A. Tyazhelye metally v presnovodnykh ekosistemakh [Heavy metals in freshwater ecosystems]. Saint-Petersburg: GosNIORKH [State Research Institute on Lake and River Fisheries] Publ., 1999, 228 p. (In Russian).
 7. Analiticheskie metodiki dlya kontrolya kachestva pishchevykh produktov i prodovol'stvennogo syr'ya. Chast' 1. Pokazateli bezopasnosti [Analytical procedures for quality control of food products and raw materials. Part 1. Safety metrics]. A.B. Belov. (Ed.). Moscow: Pero [Quill], 2014, 232 p. (In Russian).
 8. Prakticheskoe rukovodstvo po khimicheskomu analizu elementov vodnykh ekosistem. Prioritetnye toksikanty v vode, donnykh otlozheniyakh, gidrobiontakh [Practice guidelines for chemical analysis of the components of aquatic ecosystems. Priority toxicants in water, bottom sediments, and hydrobionts]. T.O. Barabashin. (Ed.). Rostov-on-Don: Mini Tayp [Mini-Type], 2018, 436 p. (In Russian).
 9. Ngo T.K. Rol' bionakopleniya v samoochishchenii vodoemov ot soedineniy mysh'yaka [The role of bioaccumulation in the self-purification of reservoirs from arsenic compounds]. *Nauchnyy al'manakh [Science Almanac]*, 2017, no. 8–1 (34), pp. 179–181. (In Russian).
 10. Vasil'kov G.V., Grishchenko L.I., Engashev V.G., Kanaev A.I., Lar'kova Z.I., Osetrov V.S. Bolezni ryb : spravochnik [Fish diseases. Handbook]. V.S. Osetrov. (Ed.). Moscow: Agropromizdat [Agricultural Industry Publishing House], 1989, 288 p. (In Russian).
 11. FR 1.31.2006.01514 Metodika vypolneniya izmereniy massovykh kontsentratsiy alyuminiya, zheleza, kadmiya, kobal'ta, margantsa, medi, mysh'yaka, nikelya, svintsa, serebra, strontsiya, sur'my, talliya, khroma i tsinka v probakh prirodnykh (presnykh i morskiykh) i ochishchennykh stochnykh vod metodom atomnoy adsorbtsii s elektrometricheskoy atomizatsiey [Methodology for measurement of mass concentrations of aluminium, iron, cadmium, cobalt, manganese, copper, arsenic, nickel, lead, silver, strontium, stibium, thallium, chrome, and zinc in the samples of natural (freshwater and marine) and treated effluents using the method of atomic absorption with electrometric atomization]. Rostov-on-Don: Virazh [Virage], 2006, 18 p. (In Russian).
 12. FR 1.31.2019.32870 Metodika vypolneniya izmereniy massovykh doley zheleza, margantsa, mysh'yaka, nikelya i khroma v probakh gidrobiontov metodom atomnoy adsorbtsii s elektrotermicheskoy atomizatsiey [Methodology for measurement of mass fractions of iron, manganese, arsenic, nickel, and chrome in the samples of aquatic living organisms using the method of atomic absorption with electrothermal atomization]. Rostov-on-Don: AzNIIRKH Publ., 2018, 16 p. (In Russian).
 13. FR 1.31.2006.02634 Metodika vypolneniya izmereniy massovykh doley alyuminiya, bariya, vanadiya, zheleza, kobal'ta, magniya, margantsa, medi, mysh'yaka, nikelya, svintsa, strontsiya, titana, khroma, tsinka i sery (obshchey) metodom rentgenoflyuorestantsnogo analiza [Methodology for measurement of mass fractions of aluminium, barium, vanadium, iron, cobalt, magnesium, manganese, copper, arsenic, nickel, lead, strontium, titanium, chrome, zinc, and sulfur (total) using the method of X-ray fluorescence analysis]. Rostov-on-Don: Virazh [Virage], 2006, 14 p. (In Russian).
 14. Barabashin T.O., Korablina I.V., Pavlenko L.F., Skrypnyk G.V., Korotkova L.I. Metodicheskoe obespechenie monitoringa zagryazneniya vodnykh ob"ektov Azovo-Chernomorskogo basseyna [Methodological support of pollution monitoring of the Azov and Black Seas water bodies]. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya [Aquatic Bioresources & Environment]*, 2018, vol. 1, no. 3–4, pp. 9–27. (In Russian).
 15. Vinogradov A.P. The elementary chemical composition of marine organisms. J. Efron, J.K. Setlow. (Transl.). New Haven: Yale University Publ., 1953, 647 p.
 16. SanPiN 2.3.2.1078-01 Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoy tsennosti pishchevykh produktov. Postanovlenie № 36 ot 14.11.2001 g. Data vvedeniya: 01.07.2002 g. [Sanitary Rules and Norms 2.3.2.1078-01 Hygienic requirements for safety and nutrition value of foodstuff. Resolution No. 36, dated 14.11.2001. Date of coming into effect: 01.01.2002]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901806306> (accessed 03.07.2019). (In Russian).

17. Rowe D., Moore A., Giorgetti A., Maclean C., Grace P., Wadhwa S., Cooke J. Review of the impacts of gambusia, redfin perch, tench, roach, yellowfin goby and streaked goby in Australia. Prepared for the Australian Government Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts. 2008, 241 p. Available at: <https://www.environment.gov.au/system/files/resources/ed20fcbe-2a52-48e1-b81f-c79496dfc23b/files/introduce-fish.pdf> (accessed 03.07.2019).
18. Borisov M.Ya. Nakoplenie tyazhelykh metallov v tkanyakh i organakh ryb ozera Vozhe [Accumulation of heavy metals in fish tissues and organs in Lake Vozhe]. In: *Vodnye ekosistemy: troficheskie urovni i problemy podderzhaniya bioraznoobraziya : materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarosnym uchastiem "Vodnye i nazemnye ekosistemy: problemy i perspektivy issledovaniy"* (g. Vologda, 24–28 noyabrya 2008 g.) [Aquatic ecosystems: trophic levels and the problems of biodiversity conservation. Proceeding of the All-Russian Conference with International Participation "Aquatic and overland ecosystems: problems and perspectives of research" (Vologda, 24–28 November, 2008)]. Vologda, 2008, pp. 254–258. (In Russian).
19. Talikina M.G., Komov V.T., Gremyachikh V.A., Chebotareva Yu.V. Vliyanie rtuti na morfologicheskie i tsitomorfolozicheskie pokazateli molodi okunya *Perca fluviatilis* v khronicheskom eksperimente [Effect of mercury on morphophysiological and cytomorphological indicators in perch young *Perca fluviatilis* in chronic experiments]. *Toksikologicheskiy vestnik* [Toxicological Review], 2006, no. 4, pp. 16–19. (In Russian).

Поступила 18.06.2019

Принята к печати 08.11.2019