

В.О. Бизбородов, М.К. Гамов, М.М. Донец, В.Д. Петишкина, В.Ю. Цыганков
Дальневосточный федеральный университет, bizborodov.vo@mail.ru

ТОКСИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДАХ Р. АМУР: АККУМУЛЯЦИЯ И РИСКИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

Приведены данные по содержанию свинца, кадмия мышьяка в органах и тканях промысловых рыб р. Амур: карасе серебряном (*Carassius gibelio*), толстолобике белом (*Hypophthalmichthys molitrix*) и верхогляде (*Chanodichthys erythropterus*). Показано, что концентрации токсичных элементов в рыбах соответствуют санитарным нормам. Исключением является содержание свинца в печени, гонадах и икре карася серебряного, превышающие допустимые уровни для пищевой продукции. Расчеты риска для здоровья населения показали, что рыбы, выловленные в р. Амур, представляют опасность в отношении острого отравления и риска развития рака из расчета потребления рыбы 29 кг/год.

Ключевые слова: токсичные элементы; промысловые рыбы; река Амур; коэффициент острого отравления (HQ); риск развития рака (ILCR).

DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.3.73.78>

Введение

Амур – одна из крупнейших рек Дальнего Востока. Ее бассейн расположен на территории трех государств – России, Китая и Монголии. Интенсивное развитие и освоение территорий бассейна Амура ведет к поступлению в его воды огромного количества органических и минеральных веществ (Кондратьева и др., 2006; Чудаева и др., 2011). Только с территории РФ в реку ежегодно сбрасывается около 1 млрд. м³ сточных вод, из них более 400 млн. м³ загрязненных (Воронов, Махинов, 2009). По экспертным оценкам, с территории Китая в бассейн Амура сбрасывается от 6.5 до 15 млрд. м³ сточных вод, из которых более 90% относятся к категории загрязненных (Ганзей, 2008). Как результат, Амур загрязнен на всем своем протяжении, качество вод по индексу загрязненности воды (ИЗВ) оценивается от III (умеренно загрязненные) до VI класса (очень грязные) (Воронов, Махинов, 2009).

Значительное место в ухудшении качества вод р. Амур и рек его бассейна занимают соединения тяжелых металлов (Чудаева и др., 2011). Их воздействие на биоту пресных водоемов крайне опасно, поскольку может снижать устойчивость экосистем и приводить к их деградации.

Рыбы являются высшим звеном трофической цепи в пресных водоемах и способны накапливать в своих органах и тканях токсичные элементы и соединения в значительных концентрациях, что создает опасность для здоровья человека из-за употребления гидробионтов в пищу.

Цель работы – исследование аккумуляции токсичных элементов (Cd, Pb, As) в промысловых рыбах р. Амур и оценка допустимого потребления рыбы для исключения рисков здоровью человека.

Материалы и методы исследования

Образцы рыб отобраны летом 2021 г. в зонах промыслового рыболовства Троицкого рыбоперерабатывающего комбината (Хабаровский край). Для анализа были выбраны виды с различным типом питания и являющиеся ценным объектом рыбоводства, промысла и любительского лова: карась серебряный (*Carassius gibelio*), толстолобик белый (*Hypophthalmichthys molitrix*), верхогляд (*Chanodichthys erythropterus*) (по 10 особей каждого вида).

Рыба вскрывалась керамическими инструментами, промывалась бидистиллированной водой, взвешивалась и упаковывалась в полиэтиленовые пакеты. До химического анализа образцы хранились в морозильной камере при температуре –20°C.

Образцы гомогенизировали, отбирали по 0.5 г. Гомогенат помещали в тефлоновый сосуд, приливали с 10 мл HNO₃ и подвергали микроволновому разложению. Минерализованную смесь переносили в кварцевые стаканы и упаривали. Далее пробы разбавлялись 0.1M раствором HNO₃ до 10 мл. Полученный раствор анализировали на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu AA-7000 с электротермическим атомизатором.

Для проверки точности метода для каждого элемента анализировался сертифицированный эталонный образец устричной ткани SRM – 1566B (NIST).

Для оценки экологического риска рассчитывали коэффициенты опасности (Hazard Quotient – HQ) и потенциального риска развития рака в течение жизни (Incremental Lifetime Cancer Risk – ILCR). HQ показывает возможность возникновения острого отравления в течение года, ILCR указывает на увеличение вероятности развития онкологических заболеваний от поступления поллютантов в организм человека в течение всей жизни.

HQ рассчитывали по формуле:

$$HQ = \frac{EDI}{TDI}$$

где EDI – среднее употребление токсиканта с пищей, мг/кг в день; TDI – количество токсичного вещества, не вызывающее отравления у человека, мг/кг в день. При значении $HQ > 0.2$ существует потенциальный риск отравления.

Среднесуточное употребление (EDI) рассчитывали следующим образом:

$$EDI = \frac{C_{food} \cdot IR_{food} \cdot AF_{GIT} \cdot D_d \cdot D_y}{BW \cdot 365 \cdot LE}$$

где C_{food} – концентрация токсиканта в пище, мг/кг; IR_{food} – среднее употребление пищи, кг/день (по данным Росстата, жители Дальнего Востока потребляют в среднем 29 кг рыбы в год (80 г ежедневно)); AF_{GIT} – фактор адсорбции токсиканта в желудочно-кишечном тракте (принимается равным 1, если отсутствуют другие данные); D_d – количество дней, в которые происходит употребление загрязненной пищи; D_y – количество лет употребления загрязненной пищи (для расчета коэффициента опасности не учитывается и принимается равным 1, для расчета риска развития рака принимается равным 65 годам); BW – средний вес тела человека, кг (по данным Росстата, для населения Дальнего Востока средний вес тела составляет 70 кг); LE – средняя продолжительность жизни (по данным Росстата, для населения Дальнего Востока составляет 70 лет).

ILCR рассчитывали по формуле:

$$ILCR = EDI \cdot SF_{oral}$$

где SF_{oral} – коэффициент, отражающий степень повышения риска развития рака при поглощении токсиканта, (кг·день)/мг. Если $ILCR > 1 \times 10^{-5}$, существует потенциальный риск развития рака.

Выражая IR_{foods} из объединенных уравнений

для расчета HQ и EDI получаем:

$$IR_{food} = \frac{HQ \cdot TDI \cdot BW \cdot 365 \cdot LE}{C_{food} \cdot AF_{GIT} \cdot D_d \cdot D_y}$$

Аналогично для расчета ILCR:

$$IR_{food} = \frac{ILCR \cdot BW \cdot 365 \cdot LE}{C_{food} \cdot AF_{GIT} \cdot D_d \cdot D_y \cdot SF_{oral}}$$

Таким образом, оценка допустимого потребления сводится к определению IR_{foods} при котором HQ или ILCR достигают опасных для здоровья значений ($HQ = 0.2$, $ILCR = 1 \times 10^{-5}$).

Статистический анализ полученных результатов проводился с использованием программного пакета IBM SPSS Statistics (ver. 21) для Windows 10. Достоверность различий полученных данных оценивали методом одностороннего дисперсионного анализа Краскела–Уоллиса с уровнем значимости $p \leq 0,05$. Все результаты представлены в мг/кг сырой массы.

Результаты и их обсуждение

Аккумуляция Cd, Pb, As в органах и тканях промысловых рыб р. Амур

Рыбы различных экологических групп обладают спецификой в отношении накопления токсичных элементов. Уровни их содержания зависят от типа их питания рыб и интенсивности обменных процессов. Карась – бентофаг, основу питания составляют донные организмы и детрит. Для бентосоядных рыб характерна повышенная аккумуляция токсичных элементов вследствие суммации эффектов их накопления из воды, донных отложений и поедаемой ими пищи (Лобанова, 2008). Толстолобик – фитопланктонофаг, а верхогляд является типичным хищником, занимая вершину пищевой цепи. В таблице 1 представлены данные о распределении токсичных элементов в различных органах рыб нижнего течения р. Амур.

У карася максимальные концентрации свинца, превышающие допустимые уровни, обнаружены в гонадах, икре и печени – органах, отвечающих за процессы репродукции и депонирования веществ (1.70, 2.16 и 1.34 мг/кг, соответственно). Кадмий и мышьяк не выходили за пределы референсных значений. Максимальные их концентрации отмечены в печени – 0.53 и 0.82 мг/кг.

Содержание свинца, кадмия и мышьяка в органах и тканях толстолобика находились в пределах допустимых значений. Наиболее высокие концентрации свинца (0.37 мг/кг) и кадмия (0.15 мг/кг) отмечены в печени, мышьяка – в гонадах (0.42 мг/кг).

Таблица 1. Концентрации токсичных элементов в органах и тканях рыб (среднее ± стандартное отклонение), мг/кг

Table 1. The concentrations of toxic elements in fishes (mean ± standard deviation), mg/kg

Элементы Elements	Органы и ткани Organs and tissues	Виды Species			Допустимый уровень (ТР ТС 021/2011) Permissible levels (TR TS 021/2011)
		Карась (<i>C. gibelio</i>)	Толстолобик (<i>H. molitrix</i>)	Верхогляд (<i>C. erythropterus</i>)	
Pb	Мышцы Muscle	0.57±0.33	н/о	н/о	1.0
	Печень Liver	0.58±0.45	0.14±0.14	0.17±0.17	
	Гонады Gonads	1.70	0.1±0.12	0.13±0.27	
	Икра Eggs	1.73±0.67	–	–	
Cd	Мышцы Muscle	0.04±0.04	0.03±0.005	0.03±0.006	0.2
	Печень Liver	0.21±0.15	0.09±0.03	0.08±0.03	0.7
	Гонады Gonads	0.06	0.03±0.01	0.04±0.02	1.0
	Икра Eggs	0.04±0.01	–	–	
As	Мышцы Muscle	0.33±0.03	0.32±0.02	0.35±0.06	1.0
	Печень Liver	0.39±0.17	0.30±0.03	0.36±0.11	
	Гонады Gonads	0.28	0.33±0.04	0.32±0.02	
	Икра Eggs	0.32±0.02	–	–	

Примечание: н/о – концентрации ниже предела обнаружения; прочерк – нет данных.
 Note: n/o – concentrations below the limit of detection; dash – no data/

В органах и тканях верхогляда концентрации Pb, Cd и As находились ниже допустимых уровней для пищевых продуктов. Максимальные концентрации кадмия и мышьяка характерны для печени – 0.12 и 0.53 мг/кг, свинца – для гонад – 0.7 мг/кг.

Таким образом, из исследованных видов рыб максимальными концентрациями элементов в органах и тканях отличается карась серебряный. В печени, гонадах и икре карася концентрации Pb превышали допустимые уровни для пищевой продукции (СанПиН 2.3.2.1078-01; ТР ТС 021/2011). Повышенные концентрации свинца в органах карася коррелируют с высоким его содержанием в донных отложениях Амура (Чухлебова, Бердни-

ков, 2011), что может быть связано с природными геохимическими особенностями бассейна.

Оценка рисков для здоровья человека

Исходя из рассчитанных данных (табл. 2) при употреблении 0.08 кг мышечной ткани либо печени карася, толстолобика или верхогляда существует потенциальный риск отравления (HQ>0.2), а также возможен риск развития рака в течении всей жизни (ILCR >1×10⁻⁵).

Согласно расчетным данным, наиболее опасным в отношении HQ можно считать употребление 0.08 кг/день в течение всей жизни мышечной ткани верхогляда. Возможен риск развития рака ILCR>1×10⁻⁵, также существует потенциальный риск отравления HQ>0.2. При употреблении пе-

Таблица 2. Коэффициенты HQ и ILCR
Table 2. HQ and ILCR coefficients

Элементы Elements	Потребление, кг/день Consumption, kg/day	EDI для HQ EDI for HQ	HQ	EDI для ILCR EDI for ILCR	ILCR
Карась (<i>C. gibelio</i>)					
Печень Liver					
As	0.08	4.4×10 ⁻⁴	1.48	4.2×10 ⁻⁴	7.5×10⁻⁴
Cd	0.08	2.4×10 ⁻⁴	0.24	–	–
Pb	0.08	6.6×10 ⁻⁴	0.18	–	–
Мышцы Muscle					
As	0.08	3.7×10 ⁻⁴	1.25	3.5×10 ⁻⁴	6.7×10⁻⁴
Cd	0.08	4.5×10 ⁻⁵	0.05	–	–
Pb	0.08	6.5×10 ⁻⁴	0.18	–	–
Толстолобик (<i>H. molitrix</i>)					
Печень Liver					
As	0.08	3.4×10 ⁻⁴	1.14	3.2×10 ⁻⁴	5.8×10⁻⁴
Cd	0.08	1.1×10 ⁻⁴	0.12	–	–
Pb	0.08	1.6×10 ⁻⁴	0.04	–	–
Мышцы Muscle					
As	0.08	3.6×10 ⁻⁴	1.21	3.4×10 ⁻⁴	6.2×10⁻⁴
Cd	0.08	3.4×10 ⁻⁵	0.04	–	–
Верхогляд (<i>C. erythropterus</i>)					
Печень Liver					
As	0.08	4.1×10 ⁻⁴	1.37	3.8×10 ⁻⁴	6.9×10⁻⁴
Cd	0.08	9.1×10 ⁻⁵	0.11	–	–
Pb	0.08	1.9×10 ⁻⁴	0.05	–	–
Мышцы Muscle					
As	0.08	4.0×10 ⁻⁴	1.33	3.7×10 ⁻⁴	6.7×10⁻⁴
Cd	0.08	3.4×10 ⁻⁵	0.04	–	–

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, указывающие на наличие потенциально возможного риска.
Note: highlighted numbers indicate the presence of a potential risk.

Таблица 3. Результаты расчета допустимого потребления органов и тканей рыб

Table 3. Calculation of the allowable consumption of the fish organs and tissues

Органы и ткани Organs and tissues	Токсикант для HQ ¹ Toxicant for HQ ¹	IR _{foods} HQ ²	Токсикант для ILCR ³ Toxicant for ILCR ³	IR _{foods} ILCR ⁴
		кг/год kg/year		кг/год kg/year
Карась (<i>C. gibelio</i>)				
Печень Liver	As	5.58	As	0.08
Мышцы Muscles	As	5.57	As	0.08
Толстолобик (<i>H. molitrix</i>)				
Печень Liver	As	5.59	As	0.08
Мышцы Muscles	As	5.56	As	0.08
Верхогляд (<i>C. erythropterus</i>)				
Печень Liver	As	5.59	As	0.08
Мышцы Muscles	As	5.59	As	0.08

¹ токсикант, с которым связан риск отравления (HQ) / toxicant with an associated risk of poisoning (HQ);

² допустимое потребление для HQ / allowable consumption for HQ;

³ токсикант, с которым связан риск развития рака / a toxicant associated with a cancer risk;

⁴ допустимое потребление для ILCR / allowable consumption for ILCR/

чени рыб наиболее опасным в отношении HQ является употребление 0.08 кг/день в течение всей жизни печени карася серебряного, включая риск отравления и развития рака.

В таблице 3 представлены данные безопасного потребления тканей и органов карася, толстолобика и верхогляда.

Согласно полученным данным, безопасным можно считать потребление мышечной ткани толстолобика белого (*H. molitrix*): в отношении HQ показатель допустимого потребления достигает 5.56 кг/год, по ILCR не рекомендуется употреблять более 0.08 кг/год.

Заключение

Установлено, что содержание токсичных элементов (Pb, Cd, As) в органах и тканях промысловых рыб р. Амур не превышает допустимых санитарных норм, за исключением концентраций свинца в печени, гонадах и икре карася серебряного, что может быть обусловлено его типом питания. Оценка риска для здоровья населения показала, что рыбы, выловленные в р. Амур, представляют опасность в отношении острого отравления (HQ>0.2) и риска развития рака (ILCR>1×10⁻⁵) из расчета потребления рыбы 29 кг/год.

Список литературы

1. Воронов Б.А., Махинов А.Н. Современное состояние водных ресурсов Дальнего Востока и их антропогенное преобразование // Сб. докл. Всерос. науч. конф. «100-летие Камчатской экспедиции РГО». Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. С. 40–48.

2. Ганзей С.С. Состояние природной среды в российской части бассейна р. Амур в пределах Дальневосточного Федерального округа // Регионы нового освоения: экологические проблемы, пути их решения / Материалы докл. Межрегион. научно-практ. конф. Хабаровск: Изд-во ДВО РАН, 2008. С. 36–40.

3. Кондратьева Л.М., Канцыбер В.С., Зазулина В.Е., Боковенко Л.С. Влияние крупных притоков на содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях реки Амур // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25, №6. С. 103–114.

4. Лобанова Т.А. Особенности накопления тяжелых металлов промысловыми видами рыб // Вестник Костромского государственного университета. 2008. Т. 14, №1. С. 18–21.

5. СанПиН 2.3.231078–01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов.

6. ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции».

7. Чудаева В.А., Шестеркин В.П., Чудаев О.В. Микроэлементы в поверхностных водах бассейна реки Амур // Водные ресурсы. 2011. Т. 38, №5. С. 606–617.

8. Чухлебова Л.М., Бердников Н.В. Особенности накопления тяжелых металлов в воде, донных отложениях и мышцах рыб среднего течения р. Амур // Региональные проблемы. 2011. Т. 14, №1. С. 54–58.

References

1. Voronov B.A., Mahinov A.N. Sovremennoe sostojanie vodnyh resursov Dal'nego Vostoka i ih antropogennoe preobrazovanie [The current state of the water resources of the Far East and their anthropogenic transformation] // Sb. dokl. Vseros. nauch. konf. «100-letie Kamchatskoj jekspedicii RGO». Petropavlovsk-Kamchatskij, 2009. P. 40–48.

2. Ganzej S.S. Sostojanie prirodnoj sredy v rossijskoj chasti bassejna r. Amur v predelah Dal'nevostochnogo Federal'nogo okruga [The state of the natural environment in the Russian part of the Amur River basin within the Far Eastern Federal District] // Regiony novogo osvoenija: jekologicheskie problemy, puti ih reshenija [Regions of new development: environmental problems, ways to solve them] / Materialy dokl. Mezhhregion. nauchno-prakt. konf. Habarovsk, 2008. P. 36–40.

3. Kondrat'eva L.M., Kancyber B.C., Zazulina V.E., Bokovenko L.S. Vlijanie krupnyh pritokov na sodержanie tzhzhelykh metallov v vode i donnyh otlozhenijah reki Amur [The influence of large tributaries on the content of heavy metals in the water and bottom sediments of the Amur River] // Tihookeanskaja

geologija [Pacific geology]. 2006. Vol. 25, No 6. P. 103–114.

4. Lobanova T.A. Osobennosti nakopleniya tjazhelyh metall-ov promyslovymi vidami ryb [Features of accumulation of heavy metals by commercial fish species] // Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Kostroma State University]. 2008. Vol. 14, No 1. P. 18–21.

5. SanPiN 2.3.231078–01. Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishhevoj cennosti pishhevyyh produktov [Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food products].

6. TR TS 021/2011. Tehnicheskij reglament Tamozhennogo sojuza «O bezopasnosti pishhevoj produkcii» [Technical Regulations of the Customs Union «On food safety»].

7. Chudaeva V.A., Shesterkin V.P., Chudaev O.V. Mikrojelementy v poverhnostnyh vodah bassejna reki Amur [Trace elements in the surface waters of the Amur River basin] // Vodnye resursy [Water resources]. 2011. Vol. 38, No 5. P. 606–617.

8. Chuhlebova L.M., Berdnikov N.V. Osobennosti nakopleniya tjazhelyh metallor v vode, donnyh otlozhenijah i myshchah ryb srednego techenija r. Amur [Features of accumulation of heavy metals in water, bottom sediments and muscles of fish of the middle course of the Amur River] // Regional'nye problem [Regional problems]. 2011. Vol. 14, No 1. P. 54–58.

commercial species of the Amur River: accumulation and human health risks.

Data on the content of toxic elements (lead, cadmium, arsenic) in the organs of commercial fish – gibel carp (*Carassius gibelio*), silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and skygazer (*Chanodichthys erythropterus*) – from the Amur River are presented. It has been shown that the concentrations of toxic elements in fish organs with the sanitary standards and requirements of the Russian Federation for food products are correspond. An exception is the content of lead in the liver, gonads, and eggs of gibel carp, which exceeds the permissible levels for food products. Also, calculations of the risk to public health showed that fish caught in the Amur River, have a risk in terms of Hazard Quotients (HQ) ($HQ > 0.2$) and Incremental Lifetime Cancer Risk (ILCR) ($ILCR > 1 \times 10^{-5}$) based on fish consumption of 29 kg/year.

Keywords: toxic elements; heavy metals; Amur River; Hazard Quotient (HQ); Incremental Lifetime Cancer Risk (ILCR).

Bizborodov V.O., Gamov M.K., Donets M.M., Petishkina V.D., Tsygankov V.Y. **Toxic elements in**

Раскрытие информации о конфликте интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / Disclosure of conflict of interest information: The author claims no conflict of interest

Информация о статье / Information about the article

Поступила в редакцию / Entered the editorial office: 04.05.2022

Одобрено рецензентами / Approved by reviewers: 11.08.2022

Принята к публикации / Accepted for publication: 26.08.2022

Информация об авторах

Бизбородов Вячеслав Олегович, аспирант, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, E-mail: bizborodov.vo@mail.ru.

Гамов Матвей Константинович, аспирант, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, E-mail: gamovmota123456@gmail.com.

Донец Максим Михайлович, аспирант, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, E-mail: maksim.donecz@mail.ru.

Петешкина Виктория Дмитриевна, магистрант, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, E-mail: petishkina_1998@mail.ru.

Цыганков Василий Юрьевич, кандидат биологических наук, доцент, профессор, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, E-mail: tsig_90@mail.ru.

Information about the authors

Vyacheslav O. Bizborodov, Postgraduate Student, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia, E-mail: bizborodov.vo@mail.ru.

Matvey K. Gamov, Postgraduate Student, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia, E-mail: gamovmota123456@gmail.com.

Maksim M. Donets, Postgraduate Student, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia, E-mail: maksim.donecz@mail.ru.

Victoria D. Petishkina, Master's student, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia, E-mail: petishkina_1998@mail.ru.

Vasily Y. Tsygankov, Ph.D. in Biology, Assistant Professor, Professor, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia, E-mail: tsig_90@mail.ru.