

Научная статья/Research Article

УДК 639.371.54 (282.247.413.5):611.018.6:546.4

DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-252-259

Александра Александровна Паюта^{1✉}, Екатерина Александровна Флерова²,
Юлия Владимировна Зайцева³

^{1,2,3}Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия

¹a.payuta@mail.ru

²katarinum@mail.ru

³zjv9@mail.ru

ОЦЕНКА РИСКА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЛЕЩА ИЗ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Данная работа является логическим продолжением проведенных нами исследований по изучению содержания тяжелых металлов в мышцах леща из районов Рыбинского водохранилища, отличающихся величиной антропогенной нагрузки. Цель настоящего исследования – оценить риски, связанные с продолжительностью воздействия тяжелых металлов (кадмия, свинца, алюминия, хрома, меди, марганца, железа и кобальта), на здоровье человека при потреблении леща из Рыбинского водохранилища. Задачи: вычислить целевые коэффициенты опасности на основе содержания тяжелых металлов, обнаруженных в мышцах леща ранее. Объект исследования – половозрелые, примерно одноразмерные особи леща ($n=40$), выловленные тралом из Шекснинского и Волжского плесов. Оценка рисков производилась расчетными методами определения целевого и суммарного коэффициентов опасности, целевого и общего индексов риска развития рака и сравнения их с допустимыми пределами. Результаты исследования указывают на отсутствие потенциального неканцерогенного риска для здоровья человека от тяжелых металлов, так как значения целевого и суммарного коэффициента опасности для всех элементов были ниже 1. Не обнаружено канцерогенного риска для свинца, однако при потреблении мяса леща риск возникновения рака от кадмия, алюминия и хрома составляет более 1 на 100000. Общий индекс риска развития рака превышает допустимый порог (1×10^{-4}) и находится в зоне неприемлемого риска, который необходимо корректировать. Значения исследованных коэффициентов и индексов в большинстве случаев оказались выше в Шекснинском плесе по сравнению с Волжским.

Ключевые слова: лещ *Abramis brama*, тяжелые металлы, мышцы, Рыбинское водохранилище, коэффициент опасности, канцерогенный риск, эталонная преоральная доза, фактор канцерогенного потенциала

Для цитирования: Паюта А.А., Флерова Е.А., Зайцева Ю.В. Оценка риска потребления леща из Рыбинского водохранилища // Вестник КрасГАУ. 2023. № 12. С. 252–259. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-252-259.

Благодарности: работа выполнена при поддержке Государственного задания НИР № FENZ-2023-0004 Министерства науки и высшего образования РФ на период 2023–2027 гг.

Alexandra Alexandrovna Payuta^{1✉}, Ekaterina Alexandrovna Flerova²,
Yulia Vladimirovna Zaitseva³

^{1,2,3}Yaroslavl State University named after P.G. Demidov, Yaroslavl, Russia

¹a.payuta@mail.ru

²katarinum@mail.ru

³zjv9@mail.ru

RISK ASSESSMENT OF CONSUMING BREAM FROM THE RYBINSK RESERVOIR

This work is a logical continuation of our research to study the content of heavy metals in the muscles of bream from areas of the Rybinsk Reservoir, which differ in the magnitude of anthropogenic load. The purpose of this study is to assess the risks associated with the duration of exposure to heavy metals (cadmium, lead, aluminum, chromium, copper, manganese, iron and cobalt) on human health when consuming bream from the Rybinsk Reservoir. Objectives: to calculate target hazard ratios based on the content of heavy metals previously detected in bream muscles. The object of the study is sexually mature, approximately the same size individuals of bream ($n=40$), caught by trawl from the Sheksninsk and Volzhsk reaches. Risk assessment was carried out by calculation methods of determining the target and total hazard coefficients, target and total cancer risk indexes and comparing them with acceptable limits. The results of the study indicate that there is no potential non-carcinogenic risk to human health from heavy metals, since the values of the target and total hazard coefficient for all elements were below 1. No carcinogenic risk was found for lead, however, when consuming bream meat, the risk of cancer from cadmium, aluminum and chromium is more than 1 in 100,000. The overall cancer risk index exceeds the acceptable threshold (1×10^{-4}) and is in the unacceptable risk zone, which needs to be adjusted. The values of the studied coefficients and indices in most cases turned out to be higher in the Sheksninsk reach compared to the Volzhsk reach.

Keywords: *Abramis brama* bream, heavy metals, muscles, Rybinsk Reservoir, hazard coefficient, carcinogenic risk, reference preoral dose, carcinogenic potential factor

For citation: Payuta A.A., Flerova E.A., Zaitseva Yu.V. Risk assessment of consuming bream from the Rybinsk reservoir // Bulliten KrasSAU. 2023;(12): 252–259. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-252-259.

Acknowledgments: the work has been supported by the State Research Assignment No. FENZ-2023-0004 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for the period 2023–2027.

Введение. Рыбинское водохранилище – крупнейший водоем России, на котором осуществляется активный рыбный промысел. Для многих людей, живущих на его берегах, рыбная ловля остается единственным средством к существованию. Наибольшую коммерческую значимость в рыбных уловах имеет лещ *Abramis brama*, популяция которого в водохранилище испытывает высокую промысловую нагрузку [1].

В северо-восточной части водохранилища в г. Череповец широко развита химическая и металлургическая промышленность, из-за которой происходит многолетнее загрязнение Шекснинского плеса [2]. В ряде исследований показано, что как по содержанию тяжелых металлов в воде и донных отложениях, так и по результатам биотестирования водохранилища этот район считается наиболее неблагоприятным для гидробионтов [2–4].

Лещ, являясь бентосоядной рыбой, наиболее подвержен воздействию загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов, которые не выводятся из организма и представляют потенциальную угрозу для здоровья человека [5, 6].

В связи с этим очень важно и актуально проводить исследования по оценке рисков потребления этого вида человеком.

Данная работа является логическим продолжением исследования содержания тяжелых металлов в мышцах леща из плесов Рыбинского водохранилища, отличающихся уровнем антропогенной нагрузки [7]. Несмотря на соответствие требованиям отечественных и международных стандартов по содержанию тяжелых металлов в мышцах леща, необходимо учитывать риски, связанные с продолжительностью воздействия токсикантов на здоровье человека при потреблении рыбы в течение жизни.

Цель исследования – оценить риски для здоровья человека, связанные с потреблением леща, выловленного из Рыбинского водохранилища.

Задачи: определить целевые коэффициенты опасности, связанные с накоплением тяжелых металлов в организме человека при потреблении леща.

Объекты и методы. Объектом исследования было 40 половозрелых, примерно одноразмер-

ных особей леща, выловленных тралом в Шекнинском и Волжском плесах. Содержание тяжелых металлов в леще определяли ранее [7].

Известно, что попадание тяжелых металлов в организм человека и воздействие на него может происходить тремя путями: оральным, ингаляционным и через кожные покровы [8]. В данном исследовании для оценки риска здоровья человека рассматривался первый вариант. Для определения риска использования рыбы в пищу применяли оценку целевого коэффициента опасности (THQ), суммарного коэффициента опасности (HI), целевого индекса риска развития рака (TR), общего индекса риска развития рака (TTR). Каждый показатель определялся по формулам (1), (2), (3), (4) соответственно [9, 10].

$$THQ = EF \times ED \times Ir \times C / RfD \times BW \times TA; \quad (1)$$

$$HI = THQ_{Cd} + THQ_{Pb} + \dots + THQ_{n...}; \quad (2)$$

$$TR = EF \times ED \times Ir \times C \times CSF / BW \times TA; \quad (3)$$

$$TTR = TR_{Cd} + TR_{Pb} + \dots + TR_{n...}; \quad (4)$$

где EF – частота воздействия (365 дней/год); ED – продолжительность воздействия (70 лет [11]); Ir – суточное потребление рыбы (по данным FAO на 2020 г. в РФ 0,022 кг/день для донных рыб); C – содержание металла в рыбе, мг/кг; RfD – эталонная преоральная доза, мг/кг/день; BW – средняя масса человека (70 кг [11]); TA – среднее время экспозиции (365 дней/год \times ED); CSF – фактор канцерогенного потенциала (мг/кг/день).

Значения RfD представлены в таблице 1.

Таблица 1

Эталонная преоральная доза (RfD) тяжелых металлов

Тяжелый металл	RfD , мг/кг/день	Источник
Cd	0,001	[9]
Pb	0,0035	[9]
Al	1,0	[12]
Cr	0,003	[9]
Cu	0,04	[9]
Mn	0,14	[8]
Fe	0,7	[12]
Co	0,0004	[13]

Фактор канцерогенного потенциала (CSF) для Cd, Pb, Al и Cr составляет 15; 0,0085; 0,021 и 0,5 мг/кг/день соответственно [9, 10, 14, 15].

Результаты и их обсуждение. Тяжелые металлы бывают биогенными, необходимыми для жизнедеятельности организма, и токсичными, приводящими к его отравлению или гибели [5, 16]. Эссенциальные элементы (Cr, Cu, Mn, Fe, Co) жизненно необходимы для живых организмов, однако при высокой концентрации их в окружающей среде они могут быть токсичными для рыб, а их избыточное накопление в организме человека может вызывать ряд негативных последствий [5, 16, 17]. В свою очередь,

неэссенциальные металлы (Cd, Pb и Al) не встроены в каскад биохимических реакций организма, протекающих при нормальном функционирования организма. Токсичность данных металлов возрастает с увеличением концентрации [5, 18]

Потребление рыбы в пищу – один из главных источников поступления тяжелых металлов в организм человека [5]. При оценке риска для здоровья человека, связанного с потенциальной продолжительностью воздействия тяжелых металлов при употреблении мяса леща, установлено, что показатель THQ для всех металлов не превышал допустимого порога (< 1) (табл. 2).

Значения целевого (*THQ*) и суммарного (*HI*) коэффициента опасности для мышц леща из Рыбинского водохранилища

Плес	Целевой коэффициент опасности								Суммарный коэффициент опасности
	Cd	Pb	Al	Cr	Cu	Mn	Fe	Co	
Шекснинский	0,001	0,006	0,004	0,017	0,007	0,001	0,005	0,007	0,049
Волжский	0,002	0,003	0,003	0,015	0,008	0,001	0,003	0,003	0,038
Среднее	0,002	0,005	0,003	0,016	0,008	0,001	0,004	0,005	0,044

Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии потенциального риска при потреблении человеком леща из Рыбинского водохранилища [9]. Результаты *HI* соответствовали модели *THQ*, и исследуемый показатель также не превышал допустимый предел (< 1). Таким образом, люди не испытают каких-либо неканцерогенных последствий для здоровья при потреблении мяса леща из Рыбинского водохранилища.

Известно, что токсические элементы, такие как свинец и кадмий, при попадании в организм человека оказывают канцерогенное, мутагенное и тератогенное воздействие из-за недостаточного их выведения [9, 10]. В последнее время у

алюминия и хрома отмечают потенциальный канцерогенный эффект [9, 19, 20]. Канцерогенный риск (*TR*) указывает на возрастающую вероятность появления онкологических заболеваний у человека в течение жизни из-за воздействия потенциального канцерогена [11]. Риск развития рака считается незначительным при $TR < 1 \cdot 10^{-6}$, при значении $TR > 1 \cdot 10^{-4}$ потребители находятся в зоне неприемлемого риска и необходима определенная коррекция [9, 10, 15].

Канцерогенный риск был рассчитан только для Cd, Pb, Al и Cr, так как фактор канцерогенного потенциала существует только для этих металлов (табл. 3).

Таблица 3

Значения целевого (*TR*) и общего (*TTR*) индекса риска развития рака для мышц леща из Рыбинского водохранилища

Плес	Целевой индекс риска развития рака				Общий индекс риска развития рака
	Cd	Pb	Al	Cr	
Шекснинский	$2,24 \cdot 10^{-5}$	$1,71 \cdot 10^{-7}$	$8,80 \cdot 10^{-5}$	$2,53 \cdot 10^{-5}$	$1,36 \cdot 10^{-4}$
Волжский	$2,63 \cdot 10^{-5}$	$9,75 \cdot 10^{-8}$	$5,59 \cdot 10^{-5}$	$2,22 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$
Среднее	$2,43 \cdot 10^{-5}$	$1,34 \cdot 10^{-7}$	$7,19 \cdot 10^{-5}$	$2,37 \cdot 10^{-5}$	$1,20 \cdot 10^{-4}$

Расчетные значения для Pb составили меньше $1 \cdot 10^{-6}$, для остальных элементов они варьировали в пределах от $2,22 \cdot 10^{-5}$ для Cr в мышцах леща из Волжского плеса до $8,80 \cdot 10^{-5}$ для Al в мышцах рыб из Шекснинского плеса (табл. 3). Таким образом, при потреблении мяса леща риск возникновения рака от Cd, Al и Cr составляет более 1 на 100 000.

Хроническое воздействие Cd может вызывать почечную недостаточность, нарушать работу желудочно-кишечного тракта, снижать минеральную плотность костей и вызывать остеопороз [9, 21, 22]. Al вытесняет кальций из организма, снижает концентрацию фосфора, маг-

ния, железа, марганца и увеличивает до токсических уровней цинк и медь, что может привести к остеопорозу, заболеваниям сердца, кариесу зубов, пародонтозу, мышечным спазмам и коликам [23]. Высокие концентрации Cr вызывают поражение почек, печени и легких, провоцируют развитие заболеваний сердечно-сосудистой и нервной систем, а его длительное воздействие может вызвать повреждение кожи и желудка, а также судороги и даже смерть [9, 17, 24].

Учитывая, что потребление рыбы связано с воздействием смеси исследованных металлов, необходимо оценивать кумулятивные риски возникновения рака путем суммирования целе-

вых индексов рисков развития рака (*TTR*). Данный показатель хоть и незначительно, но превышает верхнюю границу, установленную нормативами ($>1 \cdot 10^{-4}$) [9]. Наибольший вклад в увеличение данного показателя вносит алюминий (табл. 3). Следует отметить, что в близлежащих к водоему областях наблюдается неуклонный рост числа онкологических заболеваний, а также регистрируется их максимальное количество по стране [25, 26].

В целом значения исследованных коэффициентов и индексов в большинстве случаев оказались выше в Шекснинском плесе по сравнению с Волжским. Данные результаты ожидаемы, так как Шекснинский плес подвержен высокой антропогенной нагрузке, что сказывается на аккумуляции тяжелых металлов в организме рыб [7, 27].

Заключение. В настоящем исследовании определены риски использования в пищу особей леща из Рыбинского водохранилища. С точки зрения здоровья человека значения целевого и суммарного коэффициента опасности для всех элементов не превышали 1, что указывает на отсутствие потенциального неканцерогенного риска для здоровья человека от тяжелых металлов. Целевые значения канцерогенного риска для свинца были ниже порога 10^{-6} . Для остальных элементов они варьировали в пределах от $2,22 \cdot 10^{-5}$ для Cr в мышцах леща из Волжского плеса до $8,80 \cdot 10^{-5}$ для Al в мышцах рыб из Шекснинского плеса. Общий индекс риска развития рака находится в зоне неприемлемого риска, так как превышает верхнюю границу, установленную нормативами, и нуждается в определенной коррекции. Полученная нами информация дополняет и расширяет сведения о безопасности рыбной продукции из Рыбинского водохранилища.

Список источников

1. Герасимов Ю.В., Стрельников А.С., Бражник С.Ю. Динамика и состояние запасов рыб Рыбинского водохранилища в период 1950–2010 гг. // Вопросы ихтиологии. 2013. Т. 53, № 4. С. 465–465.
2. Tomilina I.I., Lozhkina R.A., Gapeeva M.V. Toxicity of Bottom Sediments of the Rybinsk Reservoir According to Long-term Biotesting Data: Report 1. Toxicological Studies // Inland Water Biology. 2021. V. 14, № 6. P. 777–787.
3. Tomilina I.I., Grebenyuk L.P., Lozhkina R.A. Toxicity of Bottom Sediments of the Rybinsk Reservoir According to Long-Term Biotesting Data. Part 2. Teratological Studies // Inland Water Biology. 2022. V. 15, № 1. P. 68–79.
4. Physiological Parameters of Bream (*Abramis brama* L.) in Parts of the Rybinsk Reservoir of Different Types / A.A. Payuta [et al.] // Inland Water Biology. 2019. V. 12, № 2. P. 217–224.
5. Alipour H., Banagar G.R. Health risk assessment of selected heavy metals in some edible fishes from Gorgan Bay, Iran // IJFS. 2018. № 17(1). P. 21–34.
6. Shcherbina G.K. Comparative Analysis of the Feeding Spectrum of Bream *Abramis brama* L. (Cyprinidae, Pisces) in Different Areas of the Rybinsk Reservoir // Inland Water Biology. 2021. V. 14. P. 590–596.
7. Паюта А.А., Флерова Е.А., Зайцева Ю.В. Содержание тяжелых металлов в мышцах леща из разных плесов Рыбинского водохранилища // Вестник КрасГАУ. 2023. № 1. С. 103–108.
8. Elumalai V., Brindha K., Lakshmanan E. Human exposure risk assessment due to heavy metals in groundwater by pollution index and multivariate statistical methods: a case study from South Africa // Water. 2017. V. 9, № 4. P. 234.
9. Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination in fish species in Taiwan: assessment and possible human health implications / C.T. Vu [et al.] // ESPR. 2017. V. 24. P. 19422–19434.
10. Residual levels of mercury, cadmium, lead and arsenic in some commercially key species from Italian coasts (Adriatic Sea): Focus on human health / G. Barone [et al.] // Toxics. 2022. V. 10. № 5. P. 223.
11. Разработка комплексного подхода к оценке содержания элементных контаминантов в нативных продуктах на основе лекарственного растительного сырья и его применение к семенам тыквы / С.В. Овсиенко [и др.] // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. 2022. Т. 12, № 2. С. 149–160.

12. *Ab Manan W.N.A., Zulkifli N.N.* Evaluation of heavy metals content in different local brands of bottled drinking water // *ESTEEM Academic Journal*. 2021. V. 17. P. 47–55.
13. Health risk assessment for exposure to some selected heavy metals via drinking water from Dadinkowa dam and river gombe abba in Gombe state, Northeast Nigeria / *A.U. Maigari [et al.]* // *World J. Anal. Chem.* 2016. V. 4. № 1. P. 1–5.
14. Toxic Metals and Metalloids in Infant Formulas Marketed in Brazil, and Child Health Risks According to the Target Hazard Quotients and Target Cancer Risk / *C.C. de Almeida [et al.]* // *IJERPH*. 2022. V. 19, № 18. P. 11178.
15. *Widyantoro A., Maziya F.B., Abidin A.U.* Exposure analysis of lead (Pb) and chromium (Cr) in workplace workshop PT. X // *Gaceta Sanitaria*. 2021. V. 35. P. S450–S454.
16. Bioconcentration of essential and nonessential elements in Black Sea turbot (*Psetta maxima* Maeotica Linnaeus, 1758) in relation to fish gender / *I.A. Simionov [et al.]* // *JMSE*. 2019. V. 7, № 12. P. 466.
17. *Alibabić V., Vahčić N., Bajramović M.* Bioaccumulation of metals in fish of Salmonidae family and the impact on fish meat quality // *Environ. Monit. Assess.* 2007. V. 131. P. 349–364.
18. Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution / *M.M.N. Authman [et al.]* // *JARD*. 2015. V. 6. № 4. P. 1000328.
19. Aluminum Enters Mammalian Cells and Destabilizes Chromosome Structure and Number / *M.R. Tenan [et al.]* // *IJMS*. 2021. V. 22, № 17. P. 9515.
20. Accumulation of chromium in plants and its repercussion in animals and humans / *R.T. Kapoor [et al.]* // *Environ. Pollut.* 2022. V. 301. P. 119044.
21. Concentration of heavy metals in seafood (fishes, shrimp, lobster and crabs) and human health assessment in Saint Martin Island, Bangladesh / *M.A. Baki [et al.]* // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2018. V. 159. P. 153–163.
22. Heavy Metals in the Fish *Tenualosa ilisha* Hamilton, 1822 in the Padma–Meghna River Confluence: Potential Risks to Public Health / *M. Sarker [et al.]* // *Toxics*. 2021. V. 9, № 12. P. 341.
23. *Pandey G., Madhuri S.* Heavy metals causing toxicity in animals and fishes // *Res. J. Animal, Veterinary and Fishery Sci.* 2014. V. 2. № 2. P. 17–23.
24. Human Health Risk Assessment of Heavy Metal Concentration in Seafood Collected from Pattani Bay, Thailand / *P. Tanhan [et al.]* // *Toxics*. 2022. V. 11, № 1. P. 18.
25. *Синицын И.С.* Пространственные и возрастные особенности эколого-обусловленных заболеваний населения Ярославской области // *Ярославский педагогический вестник*. 2011. Т. 3, № 2. С. 160.
26. Онкологическая заболеваемость в Красноярском крае / *А.А. Модестов [и др.]* // *Российский онкологический журнал*. 2016. Т. 21, № 1-2. С. 76–80.
27. *Паюта А.А., Флерова Е.А., Зайцева Ю.В.* Содержание тяжелых металлов в мышечной ткани судака *Sander lucioperca* в разных плесах Рыбинского водохранилища // *Вестник АГТУ. Сер. «Рыбное хозяйство»*. 2022. № 4. С. 135–142.

References

1. *Gerasimov Yu.V., Strel'nikov A.S., Brazhnik S.Yu.* Dinamika i sostoyanie zapasov ryb Rybinskogo vodohranilisha v period 1950–2010 gg. // *Voprosy ihtiologii*. 2013. Т. 53, № 4. С. 465–465.
2. *Tomilina I.I., Lozhkina R.A., Gapeeva M.V.* Toxicity of Bottom Sediments of the Rybinsk Reservoir According to Long-term Biotesting Data: Report 1. Toxicological Studies // *Inland Water Biology*. 2021. V. 14, № 6. P. 777–787.
3. *Tomilina I.I., Grebenyuk L.P., Lozhkina R.A.* Toxicity of Bottom Sediments of the Rybinsk Reservoir According to Long-Term Biotesting Data. Part 2. Teratological Studies // *Inland Water Biology*. 2022. V. 15, № 1. P. 68–79.
4. Physiological Parameters of Bream (*Abramis brama* L.) in Parts of the Rybinsk Reservoir of Different Types / *A.A. Payuta [et al.]* // *Inland Water Biology*. 2019. V. 12, № 2. P. 217–224.
5. *Alipour H., Banagar G.R.* Health risk assessment of selected heavy metals in some edible fishes from Gorgan Bay, Iran // *IJFS*. 2018. № 17(1). P. 21–34.

6. *Shcherbina G.K.* Comparative Analysis of the Feeding Spectrum of Bream *Abramis brama* L. (*Cyprinidae, Pisces*) in Different Areas of the Rybinsk Reservoir // *Inland Water Biology*. 2021. V. 14. P. 590–596.
7. *Payuta A.A., Flerova E.A., Zajceva Yu.V.* Soderzhanie tyazhelyh metallov v myshchah lescha iz raznyh plesov Rybinskogo vodohranilischa // *Vestnik KrasGAU*. 2023. № 1. S. 103–108.
8. *Elumalai V., Brindha K., Lakshmanan E.* Human exposure risk assessment due to heavy metals in groundwater by pollution index and multivariate statistical methods: a case study from South Africa // *Water*. 2017. V. 9, № 4. P. 234.
9. Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination in fish species in Taiwan: assessment and possible human health implications / *C.T. Vu* [et al.] // *ESPR*. 2017. V. 24. P. 19422–19434.
10. Residual levels of mercury, cadmium, lead and arsenic in some commercially key species from Italian coasts (Adriatic Sea): Focus on human health / *G. Barone* [et al.] // *Toxics*. 2022. V. 10. № 5. P. 223.
11. Razrabotka kompleksnogo podhoda k ocenke soderzhaniya `elementnyh kontaminantov v nativnyh produktah na osnove lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya i ego primenenie k seme-nam tykvy / *S.V. Ovsienko* [i dr.] // *Vedomosti Nauchnogo centra `ekspertizy sredstv medicinskogo primeneniya*. 2022. T. 12, № 2. S. 149–160.
12. *Ab Manan W.N.A., Zulkifli N.N.* Evaluation of heavy metals content in different local brands of bottled drinking water // *ESTEEM Academic Journal*. 2021. V. 17. P. 47–55.
13. Health risk assessment for exposure to some selected heavy metals via drinking water from Dadinkowa dam and river gombe abba in Gombe state, Northeast Nigeria / *A.U. Maigari* [et al.] // *World J. Anal. Chem.* 2016. V. 4. № 1. P. 1–5.
14. Toxic Metals and Metalloids in Infant Formulas Marketed in Brazil, and Child Health Risks According to the Target Hazard Quotients and Target Cancer Risk / *C.C. de Almeida* [et al.] // *IJERPH*. 2022. V. 19, № 18. P. 11178.
15. *Widyantoro A., Maziya F.B., Abidin A.U.* Exposure analysis of lead (Pb) and chromium (Cr) in workplace workshop PT. X // *Gaceta Sanitaria*. 2021. V. 35. P. S450–S454.
16. Bioconcentration of essential and nonessential elements in Black Sea turbot (*Psetta maxima* *Maeotica* Linnaeus, 1758) in relation to fish gender / *I.A. Simionov* [et al.] // *JMSE*. 2019. V. 7, № 12. P. 466.
17. *Alibabić V., Vahčić N., Bajramović M.* Bioaccumulation of metals in fish of Salmonidae family and the impact on fish meat quality // *Environ. Monit. Assess.* 2007. V. 131. P. 349–364.
18. Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution / *M.M.N. Authman* [et al.] // *JARD*. 2015. V. 6. № 4. P. 1000328.
19. Aluminum Enters Mammalian Cells and Destabilizes Chromosome Structure and Number / *M.R. Tenan* [et al.] // *IJMS*. 2021. V. 22, № 17. P. 9515.
20. Accumulation of chromium in plants and its repercussion in animals and humans / *R.T. Kapoor* [et al.] // *Environ. Pollut.* 2022. V. 301. P. 119044.
21. Concentration of heavy metals in seafood (fishes, shrimp, lobster and crabs) and human health assessment in Saint Martin Island, Bangladesh / *M.A. Baki* [et al.] // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2018. V. 159. P. 153–163.
22. Heavy Metals in the Fish *Tenulosa ilisha* Hamilton, 1822 in the Padma–Meghna River Confluence: Potential Risks to Public Health / *M. Sarker* [et al.] // *Toxics*. 2021. V. 9, № 12. P. 341.
23. *Pandey G., Madhuri S.* Heavy metals causing toxicity in animals and fishes // *Res. J. Animal, Veterinary and Fishery Sci.* 2014. V. 2. № 2. P. 17–23.
24. Human Health Risk Assessment of Heavy Metal Concentration in Seafood Collected from Pattani Bay, Thailand / *P. Tanhan* [et al.] // *Toxics*. 2022. V. 11, № 1. P. 18.
25. *Sinicyn I.S.* Prostranstvennye i vozrastnye osobennosti `ekologo-obuslovlennyh zabolovanij naseleniya Yaroslavskoj oblasti // *Yaroslavskij pedagogicheskij vestnik*. 2011. T. 3, № 2. S. 160.

26. Onkologicheskaya zbolevaemost' v Krasnoyarskom krae / A.A. Modestov [i dr.] // Rossijskij onkologicheskij zhurnal. 2016. T. 21, № 1-2. S. 76–80.
27. Payuta A.A., Flerova E.A., Zajceva Yu.V. Soderzhanie tyazhelyh metallov v myshechnoj tkani sudaka Sander lucioperca v raznyh plesah Rybinskogo vodohranilischa // Vestnik AGTU. Ser. «Rybnoe hozyajstvo». 2022. № 4. S. 135–142.

Статья принята к публикации 30.06.2023 / The article accepted for publication 30.06.2023.

Информация об авторах:

Александра Александровна Паюта¹, научный сотрудник научной лаборатории экобиомониторинга и контроля качества, кандидат биологических наук

Екатерина Александровна Флерова², проректор по научной работе, кандидат биологических наук, доцент

Юлия Владимировна Зайцева³, старший научный сотрудник научной лаборатории экобиомониторинга и контроля качества, кандидат биологических наук

Information about the authors:

Alexandra Alexandrovna Payuta¹, Researcher, Scientific Laboratory of Ecobiomonitoring and Quality Control, Candidate of Biological Sciences

Ekaterina Alexandrovna Flerova², Vice-Rector for Research, Candidate of Biological Sciences, Docent

Yulia Vladimirovna Zaitseva³, Senior Researcher, Scientific Laboratory of Ecobiomonitoring and Quality Control, Candidate of Biological Sciences

